

**DISTRIBUTION STATEMENT A**  
Approved for Public Release  
Distribution Unlimited

*TNO-rapport*  
TNO-MEP – R 99/048

TNO Milieu, Energie  
en Procesinnovatie

**Model van een polymere brandstofcel met  
dieselreformer voor gebruik in het  
rekenprogramma GES**

TNO-MEP  
Business Park E.T.V.  
Laan van Westenenk 501  
Postbus 342  
7300 AH Apeldoorn  
  
Telefoon: 055 549 34 93  
Fax: 055 541 98 37  
Internet: www.mep.tno.nl

Datum  
mei 1999

Auteur(s)  
Ir. M. Nienoord  
Dr.ir. D. Schmal

Projectnummer  
28301

TNO-DO opdrachtnummer  
A97/KM/111

Trefwoorden  
- brandstofcel  
- reformer  
- dieselolie  
- Solid Polymer Fuel Cell (SPFC)  
- Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)  
- polymere brandstofcel

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

© 1999 TNO

**DTIC QUALITY INSPECTED 4**

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en  
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en  
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut  
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame  
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Rubricering  
Vastgesteld door: Ir. I.P. Barendregt  
Vastgesteld d.d.: 24 maart 1999  
Titel: Ongerubriceerd  
Management uittreksel: Ongerubriceerd  
Executive summary: Ongerubriceerd  
Samenvatting: Ongerubriceerd  
Oplage: 15  
Aantal bladzijden: 47  
Aantal bijlagen: 4

Bestemd voor  
TNO Defensie-onderzoek  
Koninklijke Marine

**AQF99-12-2256**

Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene  
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals  
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de  
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

19990908 029

## Management-uittreksel

Titel : Model van een polymere brandstofcel met dieselreformer voor gebruik in rekenprogramma GES

Auteurs : Ir. M. Nienoord, Dr.ir. D. Schmal

Datum : mei 1999

Opdrachtnr. : A97/KM/111

Rapport nr. : R99/048

TDCK nr. : TD 99-0199

De Koninklijke Marine heeft behoefte aan een methode om het voortstuwings- en energiesysteem van schepen in het voorontwerpstadium op een snelle manier te kunnen doorrekenen, met betrekking tot rendementen, kosten, afmetingen e.d. In het kader hiervan is door TNO-Bouw, Centrum voor Mechanische Constructies (CMC) een rekenprogramma ontwikkeld dat deze snelle doorrekening mogelijk maakt. Dit programma heeft de naam GES (Geïntegreerde Energie Systemen) gekregen. In GES zijn modellen beschikbaar voor alle componenten (of kunnen door de gebruiker ingebracht worden) die te vinden zijn in het voortstuwings- en energiesysteem van een schip. Deze component modellen worden gekoppeld tot een systeemmodel, waarmee parameterstudies kunnen worden uitgevoerd op het gebied van energierendementen, afmetingen, kosten e.d.

Door de voortgaande ontwikkelingen op het gebied van brandstofcellen, vooral ten behoeve van voertuigandrijving en het in zicht komen van daadwerkelijke toepassing ervan, loopt reeds enige jaren onderzoek bij TNO-MEP naar alle aspecten die te maken hebben met de toepassing van brandstofcellen op schepen van de Koninklijke Marine. Mede gezien de positieve resultaten hiervan wil de Koninklijke Marine de mogelijkheid hebben om ook berekeningen aan brandstofcellen in GES te doen. Omdat ervan uitgegaan wordt dat de benodigde brandstof onder andere dieselolie zal zijn, is het tevens nodig om de omzetting van dieselolie in waterstof met een reformer in beschouwing te nemen bij de berekeningen. Aan TNO-MEP is gevraagd om voor een dergelijk model te beschrijven.

Uit een literatuurevaluatie is gebleken dat, met betrekking tot de brandstofcel zelf, er voldoende informatie uit de literatuur en eigen metingen te halen is om de brandstofcel te modelleren ten behoeve van GES. Met betrekking tot de reformer, die in een veel priller stadium van ontwikkeling is dan de brandstofcel, bleek dit niet het geval te zijn. De hiervoor bruikbare kwantitatieve informatie is zeer schaars, terwijl er bij TNO geen eigen ervaring met een reformer is. Er is daarom

besloten om hiervoor de resultaten van een systeemstudie van ECN [1] betreffende energierendement van een dergelijk systeem te gebruiken en te vertalen naar gegevens die voor GES bruikbaar zijn. Hiertoe was het nodig om een aantal aanvullingen op het ECN-model uit te werken en een aantal aannamen te doen. Het brandstofcelsysteem is daartoe in twee modules gesplitst nl.:

- De reformer, waar dieselolie ingaat en waterstof/kooldioxide uitkomt.
- De polymere brandstofcel, waar waterstof/kooldioxide ingaat en elektrische energie uitkomt.

Naast deze stromen zijn er verder lucht- en koelwaterstromen in beide modules en een afgassenstroom vanuit de reformer alsmede een stroom vast zinksulfide vanuit de reformer.

Voor systemen met betrekking tot een vollastvermogensbereik van 1 tot 7 MW zijn berekeningen uitgevoerd, die de getallen geven ten aanzien van energie- en massastromen voor de reformer en brandstofcel, alsmede de volumina. De berekeningen zijn eveneens uitgevoerd bij deellastbedrijf van het brandstofcelsysteem. Op basis van deze resultaten kan gesteld worden dat de modellen (voorlopig) voldoen en in GES geïmplementeerd kunnen worden.

## Executive summary

Title : Model for a polymer fuel cell with dieselreformer for use in the integrated energy model GES

Authors : M. Nienoord, D. Schmal

Date : May 1999

Contract nr. : A 97/KM/111

Report nr. : R 99/048

TDCK nr. : TD 99-0199

In the Royal Netherlands Navy there is a need for a methodology to do calculations related to the propulsion and energy system on ships to be designed, with respect to energy efficiencies, costs and space required. In relation to this need a software model has been developed by the TNO Centre of Mechanical Engineering for these types of calculations. This model has the name GES (Dutch for Integrated Energy System). In GES submodels are implemented for all the relevant components on board of the ship participating in the propulsion and energy system. The component models are integrated to a system model, used for doing parameter studies with respect to efficiency, size and cost, including optimisations.

The continuing progress in the development and application of fuel cells, especially for vehicle traction, has led to investigations at TNO-MEP with respect to the possibilities and problems in naval ship applications (including tests with polymer fuel cell stacks). The positive results of the studies and tests, both outside and in TNO, has lead to the need to do calculations with GES for situations where fuel cells are installed on board of ships. Because the most attractive and probable fuel for naval ships now and in the future will be diesel oil, it is necessary not only to take into account the fuel cell itself, but also the fuel processor converting diesel oil fuel into the hydrogen required by the fuel cell. TNO-MEP was asked to make a description in a model.

From a literature survey (and also from tests at TNO) it was concluded that, with respect to the fuel cell, there is ample information available to model the fuel cell for GES. With respect to the reformer, which is in a much more premature stage of development compared to the fuel cell, no usefull quantitative information was found. Since there also was no testing experience at TNO, it was decided to use the results of a system study carried out by ECN for the Royal Netherlands Navy with respect to various fuel cell/fuel reformer combinations [1]. To make this

information suitable for application in GES, a number of additions had to be made to the ECN-model. For GES the system has been split into two modules:

- The reformer system, with diesel oil fuel as input and hydrogen/carbon dioxide as output.
- The fuel cell stack, with hydrogen carbon dioxide as input and electrical power as output.

Beside these flows, the flows important for GES are air and cooling water in both modules, flue gas from the reformer system and solid waste (ZnS) from the reformer system.

For systems in a power range of 1-7 MW calculations have been performed, giving data which can be used as input for GES. The calculations have also been performed for partload of the fuel cell system. On the basis of the results it can be calculated that, for the time being, the models fulfill the requirements and can be implemented in GES.

## Samenvatting

Door TNO-Bouw, Centrum voor Mechanische Constructies, is het rekenprogramma GES ontwikkeld, waarmee het voortstuwings- en energiesysteem van schepen in het voorontwerpstadium kan worden doorgerekend op rendement, kosten, afmetingen e.d. Door de voortgaande ontwikkeling en toepassing van brandstofcellen voor voertuigaandrijving is er een duidelijke kans dat brandstofcellen de komende jaren in een stadium van ontwikkeling komen dat toepassing op schepen van de Koninklijke Marine mogelijk wordt. De KM heeft daarom aan TNO-MEP opdracht gegeven om een beschrijving te leveren voor een stationair model van een brandstofcelsysteem, uitgaande van dieselolie als brandstof, met een nominaal vermogen in de range van 1 tot 7 MW.

Uit een literatuurevaluatie en eigen ervaring met testen van een polymere brandstofcelstack (SPFC = Solid Polymer Fuel Cell) is gebleken dat er wel voldoende informatie was voor modellering van de brandstofcel zelf, maar niet voor de reformer waarin dieselolie in waterstof wordt omgezet ten behoeve van de brandstofcel. Voor dit laatste is uitgegaan van een studie met betrekking tot dieselreformers voor brandstofcelsystemen van ECN, uitgevoerd in opdracht van de Koninklijke Marine [1]. Door een aantal aanvullingen en veranderingen in de modellering zijn de resultaten hiervan geschikt gemaakt voor modellering ten behoeve van GES.

Voor een vermogensbereik van 1 tot 7 MW zijn vollast- en deellastberekeningen uitgevoerd die de resultaten weergeven ten aanzien van energie- en massastromen voor de verschillende relevante componenten, alsmede volumina. Het resultaat van het project is een reeks algoritmen of tabellen die het gedrag en fysieke grootheden van de genoemde systemen beschrijven.

## Inhoud

Management uittreksel.....	2
Executive summary.....	4
Samenvatting.....	6
1. Inleiding .....	8
2. Uitgangspunten .....	10
3. Het ECN-model.....	11
4. Aanvullingen op ECN-model.....	12
5. Rekenmethodiek.....	16
6. Resultaten.....	20
7. Conclusies .....	21
8. Referenties .....	22
9. Verantwoording .....	23
Bijlage A    Stroomschema van dieselolie-stoomreformer met brandstofcel (SPFC) .....	24
Bijlage B    Samenvatting van vermogens van onderdelen van het Aspen model.....	25
Bijlage C    Gegevens over stromen in het Aspen model .....	27
Bijlage D    Berekeningsresultaten voor nominale vermogens van 1 tot 7 MW bij 440 V AC met vermogensvariatie .....	40

Report Documentation Page

Distributielijst

## 1. Inleiding

De Koninklijke Marine zoekt naar een methode om de energiestromen in het voortstuwings- en energiesysteem van nieuw te ontwikkelen vaartuigen in het voorontwerpstadium op een snelle manier te kunnen berekenen. Bij TNO-Bouw is een rekenprogramma ontwikkeld, waarmee een snelle doorrekening van energiesystemen mogelijk is [2]. Het door TNO-Bouw ontwikkelde rekenprogramma heet Geïntegreerde Energie Systemen, kortweg "GES". In GES zijn modellen aanwezig van onderdelen/componenten waarmee energiesystemen voor schepen kunnen worden opgebouwd. In GES kunnen deze modellen aan elkaar worden gekoppeld tot een geheel, waarmee parameterstudies kunnen worden uitgevoerd [2].

De Koninklijke Marine (KM) wil de mogelijkheid hebben om ook brandstofcellen gecombineerd met waterstofgeneratie in GES te kunnen gebruiken. In verband met de noodzaak tot het gebruik van logistieke NATO brandstoffen (voor schepen is dat F76 dieselolie), moet, bij gebruik van brandstofcellen op volgende generaties schepen, waterstof via "reforming" uit dieselolie worden gegenereerd.

De Koninklijke Marine heeft TNO-MEP gevraagd een model te leveren van een brandstofcel met een dieseloliereformer, dat in GES gebruikt kan worden. Met betrekking tot de brandstofcel zelf is er voldoende informatie beschikbaar in de literatuur en uit eigen metingen/testen aan twee verschillende typen polymere brandstofcellen (= SPPC = Solid Polymer Fuel Cell) van De Nora om de nodige input voor GES te leveren. Met betrekking tot dieseloliereforming bleek in de literatuur nauwelijks of geen kwantitatieve informatie aanwezig te zijn die bruikbaar was voor een reformermodel in GES. Wel is meer algemene informatie gevonden over brandstofreformers en processors [3], [4], [5].

Voor het gebrek aan bruikbare informatie zijn twee redenen:

- De ontwikkeling van reformers van brandstoffen t.b.v. brandstofcellen in het algemeen en dieselreforming in het bijzonder staan nog in de kinderschoenen.
- Veel informatie wordt niet gepubliceerd, omdat de belangen van de betreffende bedrijven en instituten groot zijn, terwijl de gepubliceerde resultaten zich beperken tot informatie over (maximale) waarden van specifieke vermogens (orde 1 kW/kg) en brandstofrendementen (70-80 %) voor omzetting van brandstof naar waterstof. Dit zijn uiteraard onvoldoende gegevens om een modelbeschrijving te maken voor gebruik in GES.

In de literatuur is zeer recent een studie verschenen [6], waarin het reformen van dieselolie gemodelleerd is met het software pakket HYSYS (vergelijkbaar met het door ECN [1] gebruikte rekenpakket van chemische omzettingen Aspen) en waarbij de waterstof afgescheiden wordt met behulp van een selectief, met palladium bedekt membraan. De resultaten hiervan zijn niet meer gebruikt voor de studie beschreven in dit rapport, omdat deze al was uitgevoerd toen deze publicatie uit kwam.



Als uitgangspunt is gekozen voor een globaal model van een dieselolie “steam reformer” gecombineerd met een “Solid Polymer Fuel Cell”, zoals beschreven door ECN [1]. Dit rapport is een verslag van het geschikt maken van het door ECN beschreven model voor GES en bevat de nodige algoritmen/tabellen voor het model van het brandstofcelsysteem in GES.

## 2.      Uitgangspunten

De KM wil in GES de beschikking hebben over een model voor brandstofcel-systemen met een vermogen in de range van 1000 kW tot 7000 kW. Het model moet zowel voor deellast als voor vollast resultaten opleveren (t.a.v. rendement etc.). De gewenste spanning is 440 V AC (3 fase). Nato F76 dieselolie dient als brandstof te worden gebruikt. Via de stoomreformer wordt de dieselolie geconverteerd naar waterstof die bruikbaar is in een SPFC. Er is gekozen voor stoomreforming omdat het rendement hierin significant hoger is dan voor partiële oxydatie [1] en ook omdat de ontwikkeling hiervan verder is. Als uitgangspunt dient een model wat door ECN in opdracht van de KM is gemaakt [1].

### 3. Het ECN-model

ECN heeft een model met het "flow sheet" programma Aspen Plus gemaakt van een compleet brandstofcelsysteem. Hierbij zijn diverse systemen gebruikt om de brandstof voor te bewerken en de gassen te reinigen. In de ECN-studie wordt dieselolie beschreven door twee beschikbare organische verbindingen uit de Aspen databank en met elementair zwavel (0,3 gew.%). Voordat de dieselolie de reformer ingaat wordt de dieselolie ontzwaveld door de zwavel om te zetten in  $H_2S$  en de  $H_2S$  te binden aan zinkoxide. Verder wordt het in de reformer gevormde koolmonoxide via een selectieve oxidatie omgezet in kooldioxide. De brandstofcel is van het doorstroomtype en wordt aan de anode gevoed met een waterstofstroom van 80 °C, welke verzadigd is met waterdamp (molaire verhouding  $H_2O / H_2$  ca. 0,25). In de brandstofcel wordt 80 % van de toegevoerde waterstof verbruikt. Een deel van de resterende waterstof wordt gebruikt om de dieselolie te ontzwavelen, terwijl de rest van de waterstof in de reformer wordt verbrand met een additionele hoeveelheid dieselolie om in de reformer de gewenste temperatuur te bereiken en te handhaven om de endotherme reactie in stand te houden.

De noodzakelijke zuurstof aan de kathode van de brandstofcel wordt verkregen door lucht te comprimeren en vervolgens te bevochtigen met water. Een deel van de zuurstof wordt in de brandstofcel verbruikt. De rest van de lucht gaat via de brander van de reformer en een afgassenexpander naar buiten.

Zowel de waterstofstroom als de luchtstroom afkomstig uit de brandstofcel worden gekoeld tot 40 °C, waarbij condens ontstaat. De warmte wordt via het koelwater afgevoerd.

De brandstofcel levert een nominaal vermogen van 1500 kW. Een deel van dat vermogen is nodig om het systeem te laten werken en een deel gaat verloren bij energieomzettingen [1]. Vooral voor het comprimeren van de lucht is elektrisch vermogen nodig. Van het nominale vermogen van 1500 kW DC blijft er netto 1258 kW over in de vorm van wisselspanning.

Het totale volume van een systeem met stoomreformer en SPFC brandstofcel voor een netto vermogen van 1258 kW gelijkstroom wordt door ECN geschat op 90 m<sup>3</sup> (zie [1]). Dit is als volgt opgebouwd:

- brandstofcelstacks      5,4 m<sup>3</sup>
- reactoren              13,4 m<sup>3</sup>
- warmtewisselaars      50,4 m<sup>3</sup>
- brandstof               5,4 m<sup>3</sup>
- DC/AC-converter       3,8 m<sup>3</sup>.

#### 4. Aanvullingen op ECN-model

Het door ECN in [1], gepresenteerde model van de polymere brandstofcel inclusief dieselstoomreformer bevat een aantal onduidelijkheden.

In de eerste plaats is de som van de massa's van alle ingaande stromen ongelijk aan de som van de massa's van alle uitgaande stromen. Er gaat ca. 976 kg/uur meer aan massa in dan eruit komt. Dit is ruim 11 % van de totale ingaande massastroom. Doordat de samenstelling en grootte van een aantal stromen niet wordt gegeven, is niet meteen duidelijk waaraan het verschil moet worden geweten. Zo wordt alleen van de stromen 1 t/m 20 in het ECN Aspenmodel de samenstelling en grootte gegeven. De samenstelling en grootte van stroom 21 t/m 24 ontbreken in het ECN rapport voor de SPFC met stoomreformer.

Door het ontbreken van informatie over stromen en het niet kloppen van de massabalans is niet na te gaan of de waterbalans klopt. Voor het dieselolie-reformen is relatief veel zoet water nodig. Zoetwater wordt omgezet in stoom, nodig voor het steamreformen. Verder is zoet water nodig voor het bevochtigen van de lucht voor de brandstofcel. Het gebruik van zout water is in principe ook mogelijk. Er moet daarbij voorkomen worden dat zout in de reformer terecht komt of in de brandstofcel. Dit zoet water kan via condensatie uit de hete gasstromen worden gewonnen. Dit betekent tevens dat er koelwater nodig is om de condensatie te bewerkstelligen. Verder is pompvermogen nodig voor de circulatie van het koelwater. Met pompvermogen voor koelwater is in het ECN-model geen rekening gehouden.

Tot slot wordt in het ECN-model zwavel uit de dieselolie omgezet naar  $H_2S$ . Dit gasvormige waterstofsulfide wordt vervolgens gebonden aan zinkoxide. Hierbij ontstaat zinksulfide en water. Het bij de binding van sulfide gevormde water neemt deel aan de "steam reform" reactie. Over de vormingssnelheid van het zinksulfide wordt geen informatie gegeven in het ECN rapport.

Om meer duidelijkheid over de bovenstaande vraagpunten te krijgen is een model in het software pakket Aspen Plus gemaakt met de gegevens van het ECN-model als leidraad. Hetzelfde nominale brandstofcelvermogen van 1500 kW is aangehouden. De waterkringloop is sluitend gemaakt in het model. Verder is de vormingssnelheid van ZnS erin gebracht en is het massabalansprobleem van het ECN-model opgehelderd.

In bijlage A is een stroomschema van het Aspenmodel opgenomen. De stroomnummers zijn zoveel mogelijk gelijk gehouden als de stroomnummers in het ECN-rapport [1]. Voor stromen, welke in het ECN rapport niet zijn genummerd, is een eigen nummering aangehouden. De brandstofcel is gemodelleerd met het model van een stoichiometrische reactor, waar 80 % van de waterstof wordt omgezet in water. De bevochtigde lucht en de waterstof zijn de ingaande stromen (stroom 15, respectievelijk stroom 16). De uitgaande stroom is stroom 17, waarin de afgassen van zowel anode als kathode zitten. Dit verschilt van het ECN-model. In het ECN-model is voor de brandstofcel een "user block"

gebruikt, waarbij de anode- en kathode gasstroom apart uit het “user block” komen. Het enthalpieverschil tussen ingaande en uitgaande stromen is in beide modellen hetzelfde.

In bijlage B zijn de energie-effecten van de onderdelen in het stroomschema uit bijlage A samengevat. In bijlage C zijn de gegevens over de stromen uit bijlage A gegeven.

Door het oplossen van gassen in water ontstaan gedissocieerde ionen in het water. Daarom is voor stromen, waarin water voorkomt, de pH (maat voor zuurgethalte) uitgerekend.

Uit bijlage C blijkt dat de vormingssnelheid van zinksulfide ruim 2,2 kg/uur bedraagt (stream ID “ZNS”, pag. 12), waarbij is verondersteld dat zinkoxide volledig wordt omgezet in zinksulfide. De vormingssnelheid van zinksulfide geldt voor dieselolie met een zwavelgethalte van 0,3 gew. %.

Het in het model geproduceerde water, ten gevolge van de reactie van waterstof met zuurstof en de verbranding van dieselolie, verdwijnt vrijwel volledig via de afgassen (circa 350 kg/uur, stroom 21) naar de lucht. Een klein deel verdwijnt via de vloeistofuitgang van de bevochtiger van de gecomprieeerde lucht naar de brandstofcel (circa 5 kg/uur, stroom NON in bijlage C). De gespuide hoeveelheid vloeistof via de luchtbevochtiger is sterk afhankelijk van de temperatuur waartoe de afgassen van de brandstofcel worden gekoeld. Bij verder koelen dan tot 40 °C van de afgassen neemt de spui via de luchtbevochtiger sterk toe. Als de gassen minder ver dan tot 40 °C worden gekoeld, wordt er onvoldoende water uit de afgassen van de brandstofcel via condensatie teruggewonnen om de lucht naar de brandstofcel volledig te kunnen verzadigen met water. In figuur 2 zijn voor een brandstofcel-reformer combinatie van 1500 kW de interne waterstromen aangegeven.

Het verschil tussen ingaande massa en uitgaande massa in het ECN-model blijkt te zitten in de toegevoerde lucht. De door de luchtcompressor aangevoerde lucht in het ECN-model blijkt maar voor circa 84 % naar de brandstofcel te stromen. De rest van de gecomprieeerde lucht is in het ECN-model verdwenen. Dit betekent dat in het ECN-model het vermogen van de luchtcompressor te hoog is berekend of dat er te weinig lucht door de brandstofcel stroomt. In het ECN-model is er na de brandstofcel nog een flinke overmaat zuurstof aanwezig.

In het Aspen model gepresenteerd in dit rapport is de hoeveelheid gecomprieeerde lucht gelijk gemaakt aan de hoeveelheid lucht, welke in het ECN-model naar de brandstofcel stroomt. Daarmee is de toegevoerde hoeveelheid zuurstof gelijk aan circa 1300 kg/uur (stroom 2, bijlage C). In de afgassen van de brandstofcel zit nu nog circa 660 kg/uur aan zuurstof (stroom 17, bijlage C). De zuurstof partiaalspanning zal na passage van de brandstofcel ruwweg gehalveerd zijn. In de verbrandingsgassen na de reformer zit nog steeds circa 280 kg zuurstof per uur (stroom 21, bijlage C). Er is dus voldoende zuurstof aanwezig.

De brandstofcel produceert in dit model 3250 kW aan vermogen. Hiervan is 1500 kW beschikbaar als elektrisch vermogen en de rest à 1750 kW als thermisch vermogen. Een deel van het thermisch vermogen is een gevolg van condensatie van water in de brandstofcel. In bijlage B in tabel 2.1 is een overzicht gegeven van de thermische vermogens in het model. Omdat de temperaturen van de stromen in dit model gelijk gehouden zijn aan die in het ECN-model, mogen we veronderstellen dat de reformer en de brandstofcel volledig thermisch geïntegreerd zijn. Er blijkt een tekort van circa 230 kW aan thermisch vermogen te zijn (tabel 2.1, bijlage B). Het tekort aan thermisch vermogen is bepaald door alle thermische vermogensvraag en -aanbod in tabel 2.1 van bijlage B te sommeren. We nemen aan dat dit tekort gedekt kan worden uit het overschot aan thermisch vermogen van de brandstofcel, net zoals dat in het ECN-model gedaan is. Het temperatuurniveau van de afgassen van de brandstofcel (80 °C) zal gebruikt moeten worden om de lucht naar de brandstofcel op te warmen tot 80 °C en te verzadigen met water. Dit gebeurt in het algemeen in een aparte sectie geïntegreerde met de brandstofcel. Nadat 230 kW van het thermische vermogen van de brandstofcel is gebruikt voor het opwarmen van de lucht naar de brandstofcel, blijft er circa 1520 kW vermogen van de brandstofcel over wat met koelwater moet worden afgevoerd. Verder moeten de afgassen van de brandstofcel worden gekoeld in verband met het terugwinnen van zoetwater. Totaal moet circa 2080 kW vermogen worden gekoeld (tabel 2.3, bijlage B). Als voor het koelwater een temperatuurverhoging van 10 °C wordt gekozen, dan is een koelwaterdebiet van 179 m<sup>3</sup>/uur nodig. Bij een veronderstelde totale drukval van 1 bar in het koelwatercircuit, is 4,9 kW aan pompvermogen nodig voor het koelwater. Daarmee komt het totaal aan elektrisch vermogen uit op circa 144 kW (tabel 2.2, bijlage B).

Voor het elektrische vermogen kan dan het beeld, zoals geschetst in tabel 1, worden gegeven. Voor het laten functioneren van de reformer en het koelwater circuit moet een parasitaire last van 144 kW elektrisch vermogen aan het vermogen van de brandstofcel worden onttrokken. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de parasitaire last van 144 kW alleen geldt, als de brandstofcel met reformer ontworpen is voor 1500 kW DC en ook alleen op dat vermogen hoeft te werken. In de praktijk zal echter ook deellastbedrijf voorkomen. Het werkelijke parasitaire vermogen hangt mede af van de belasting van de brandstofcel.

Tabel 1      Netto beschikbaar elektrisch vermogen (wisselstroom, AC) van brandstofcel (SPFC).

SPFC elektrisch vermogen DC	1500	kW
Verlies DC-AC converter (4 %)	60	-/- kW
SPFC elektrisch vermogen AC	1440	kW
Parasitaire last Reformer/koelwater	144	-/- kW
Netto elektrisch vermogen AC	1296	kW

Bij een brandstof toevoer van 3587 kW, gebaseerd op de Lower Heating Value van de dieselolie (42,5 MJ/kg), wordt het bruto rendement (DC) van de brandstofcel 41,8 % en het netto rendement (AC) 36,1 %. In dit model is de

compressor gebruikt om de lucht voor de brandstofcel te comprimeren. In het ECN-model wordt ca. 976 kg lucht per uur extra gecomprimeerd, die nergens in het ECN-model wordt gebruikt. Daarom is voor de luchtcompressor in het TNO-model minder vermogen nodig. Door het geringere vermogen van de luchtcompressor t.o.v. het ECN-model is het netto rendement van de brandstofcel 1 % hoger dan in het ECN geval (35,1 %).

De gegevens uit tabel 1 en de Aspensimulatie zullen worden gebruikt om brandstofcel plus reformer naar andere vermogens te schalen.

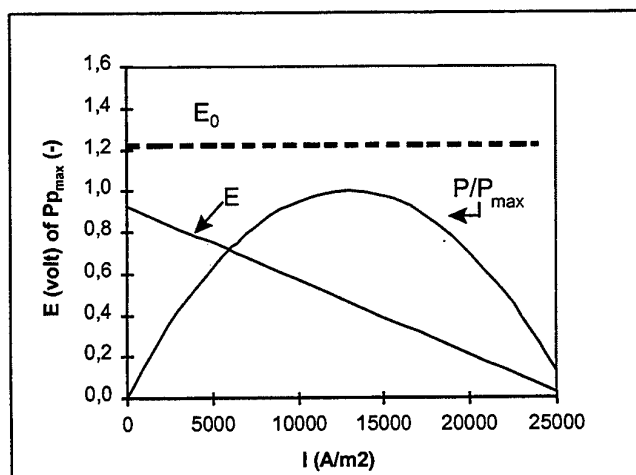
## 5. Rekenmethodiek

De brandstofcel uit tabel 1 is ontworpen voor een nominaal vermogen van 1500 kW gelijkstroom bij een celspanning van 0,7 volt. Bij een variërende vermogensvraag, zal de celspanning mee variëren. In figuur 1 is bij benadering de celspanning van een SPFC als functie van de stroomdichtheid gegeven [6].

Alhoewel dit al oudere getallen van Siemens betreft, gebruikt bij eerdere studies door TNO, is dit een realistisch beeld van de prestaties van toekomstige polymere brandstofcellen uitgaande van reformgas als brandstof en lucht als oxydant zoals blijkt uit eigen experimenteel werk en literatuur- en congresinformatie. Tevens is in figuur 1 het genormaliseerde vermogen ( $P/P_{\max}$ ) weergegeven.

Het in figuur 1 getoonde stroom-spanningsdiagram geldt voor zuiver waterstof doch kan als karakteristiek worden gezien voor de in de komende jaren te ontwikkelen brandstofcellen met reformergas als brandstof en lucht als oxydant. In het reformergas zitten ook andere componenten dan waterstof. De aanwezigheid van  $\text{CO}_2$  in de waterstofstroom verandert het stroom-spanningsdiagram nauwelijks als er een klein percentage lucht in de waterstofstroom aanwezig is om eventueel gevonden of in de brandstofcel ontstane CO te laten reageren tot  $\text{CO}_2$  [3].

Koolmonoxide veroorzaakt een ernstige vergiftiging van de elektrode en heeft een significante teruggang van de prestatie van de brandstofcel tot gevolg. In het ECN-model en ook in het Aspen model in dit rapport is daarom een preferentiële oxidatiestap voor CO naar  $\text{CO}_2$  opgenomen (PROX in bijlage A). In de preferentiële oxidatie wordt 95 % van de CO omgezet in  $\text{CO}_2$ . Er wordt vanuit gegaan, dat daarmee het CO-gehalte voldoende is verlaagd en er in de brandstofcel elektrodematerialen zijn gebruikt die lage CO-gehalten aankunnen, d.w.z. niet in prestaties achteruit gaan.



Figuur 1 Stroom-spanningsdiagram voor SPFC met genormaliseerd elektrisch vermogen ( $P/P_{\max}$ ) en standaard redox-potentiaal  $E_0$  voor reactie van zuurstof met waterstof

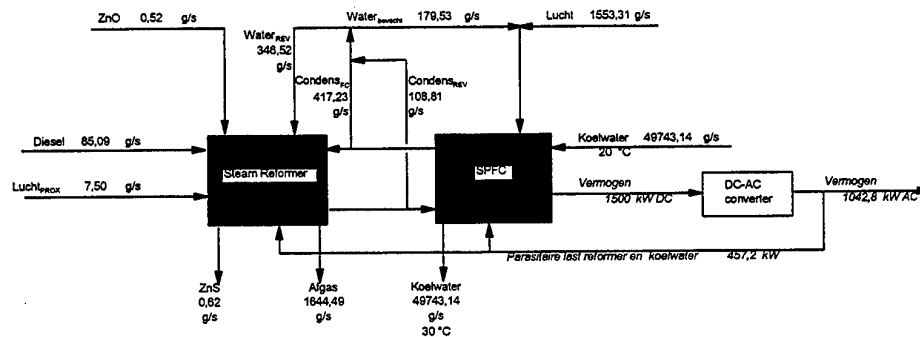


Uit figuur 1 is af te leiden dat de vermogensafgifte van de brandstofcel door een maximum gaat bij een stroomsterkte van circa  $13 \text{ kA/m}^2$ . De celspanning bij de maximale vermogensafgifte is circa 0,47 volt. De brandstofcel bij een hogere stroomsterkte bedrijven dan bij het maximale elektrische vermogen is niet zinvol, omdat een steeds groter deel van de toegevoerde energie wordt omgezet in warmte, terwijl het elektrisch vermogen terugloopt. Uit figuur 1 kan worden afgeleid, welk deel van de door de brandstofcel omgezette enthalpie als elektrisch vermogen en welk deel als thermisch vermogen beschikbaar komt. De fractie elektrisch vermogen bij een bepaalde stroomsterkte is gelijk aan  $E/E_0$  en de fractie ontwikkelde warmte is gelijk aan  $(E_0 - E)/E_0$ . Hierbij wordt er vanuit gegaan, dat de reactieproducten in de gasfase verkeren. Doordat in of na de brandstofcel alle gevormde water condenseert, is het af te voeren thermische vermogen hoger dan de fractie  $(E_0 - E)/E_0$ . Hiermee wordt in het model rekening gehouden voor de bepaling van de hoeveelheid koelwater. Daartoe wordt met vergelijking (2) berekend, welk deel van het ingezette vermogen aan waterstof wordt omgezet in elektrisch vermogen. Het resterend deel van het ingezette vermogen wordt omgezet in thermisch vermogen. Van dit thermisch vermogen wordt een deel gebruikt om de lucht naar de brandstofcel met water te verzadigen. De rest van het thermisch vermogen wordt via koelwater afgevoerd.

Een deel van het elektrische vermogen van de brandstofcel is nodig om de reformer te laten functioneren en lucht voor de brandstofcel te comprimeren. Dit parasitaire vermogen wordt voornamelijk bepaald door de luchtcompressor. Het parasitaire vermogen is daarom afhankelijk van het gekozen type compressor en de capaciteitsregeling op de compressor. De snelheid, waarmee de reformer moet reageren op veranderingen in de vermogensvraag speelt daarbij ook een rol. Er wordt hier uitgegaan van het gebruik van een continue stromingscompressor. Deze roterende compressoren zijn gewoonlijk veel kleiner dan b.v. zuigercompressoren en produceren veel minder trillingen. De capaciteit van deze compressoren kan worden geregeld door de perszijde en de zuigzijde met elkaar te verbinden met in de verbindingsleiding een regelklep. Als er minder dan het maximale vermogen wordt gevraagd, wordt een deel van het gecomprimeerde gas teruggevoerd naar de zuigzijde van de compressor. Voor de compressor betekent dit, dat over het gehele regelbereik het maximale vermogen wordt opgenomen. Daarom wordt er vanuit gegaan dat het parasitaire vermogen van de compressor constant is over het gehele werkgebied van de brandstofcel. Dezelfde aanname wordt gedaan voor het parasitaire vermogen van de pompen. Het parasitaire vermogen voor compressor en pompen is dus gelijk aan het parasitaire vermogen in vollast. Dit geeft waarschijnlijk een enigszins conservatieve schatting van de verliezen. De hoeveelheid energie, welke via de expander wordt teruggewonnen, is afhankelijk van de brandstof- en luchttoevoer en varieert dus met de vermogensvraag. Er wordt vanuit gegaan, dat de expander wisselspanning teruglevert aan het net.

In figuur 2 is het Aspen model uit bijlagen A t/m C schematisch samengevat. In figuur 2 is DC-AC converter toegevoegd. Er is rekening gehouden met een

vermogensverlies van 4 % in de DC-AC converter. Het werkelijk geleverde vermogen is het vermogen van de brandstofcel minus het vermogensverlies in de DC-AC converter, minus het parasitaire vermogen van de koelwaterpomp en de luchtcompressor bij vollast plus de teruglevering door de expander.



Figuur 2 Schema van een dieseloliereformer en vaste polymeer brandstofcel van 1500 kW met daarin massa- en vermogensstromen

Door ECN is het systeemvolume van de reformer met brandstofcel van 1500 kW gelijkstroom geschat op 90 m<sup>3</sup>. Omdat het volume evenredig is met de derde macht van een afmeting en de capaciteit evenredig is met het kwadraat van die afmeting, kan een onbekend volume met de volgende formule worden geschat uit een bekend volume en het vermogen P.

$$V = 89,1 * \left( \frac{P}{1500} \right)^{3/2} \quad (1)$$

In vergelijking (1) is V het gevraagde volume in m<sup>3</sup> bij een gelijkstroom vermogen P in kW van de brandstofcel. P is het vermogen dat de brandstofcel in vollast moet leveren.

$\alpha$  is de fractie elektrisch vermogen van het totale vermogen, die bij de oxidatie van waterstof in de brandstofcel vrijkomt.  $\alpha$  is berekend met:

$$\alpha = 0,6138 - 2,376 * 10^{-5} * I \quad (2)$$

Vergelijk (2) is afgeleid door een aantal zaken te combineren. In de eerste plaats werkt het ECN-model bij een celspanning van 0,7 volt. De celspanning E kan worden beschreven met:

$$E = 0,93 - 3,6 * 10^{-5} * i \quad (3)$$

In (3) is  $i$  de stroomsterkte per  $m^2$  celoppervlak. In de tweede plaats levert het ECN-model bij een spanning per cel van 0,7 volt een vermogen van 1500 kW DC. Voor de fractie electrisch vermogen  $\alpha$  geldt:

$$\alpha = \frac{E}{E_0} \quad (4)$$

In vergelijking (4) is  $E_0$  de standaard redox potentiaal voor de reactie van waterstof en zuurstof.  $E_0$  is gelijk aan 1,23 volt. Bij  $E = 0,7$  zou  $\alpha$  volgens (4) gelijk aan 0,57 moeten zijn. In de derde plaats volgt uit het Aspen model dat er in de brandstofcel 3250 kW aan vermogen vrijkomt. Dit betekent een fractie electriciteit van  $\frac{1500}{3250} = 0,462$ , hetgeen minder is als uit (4) zou volgen. Het geringere electrische vermogen betekent een hoger thermisch vermogen. Dit hogere thermische vermogen wordt grotendeels veroorzaakt door condensatie van waterdamp in de brandstofcel. Met het hogere thermische vermogen is rekening gehouden door vergelijking (3) en (4) te combineren en de noemer van 0,7 volt de fractie electriciteit gelijk wordt aan 0,462. Dit levert vergelijking (2) op.

De hoeveelheid brandstof voor een bepaald vermogen wordt aldus berekend. Als basis geldt de situatie in figuur 2. In figuur 2 wordt 85 g/s aan dieselolie verbruikt voor een electrisch vermogen van 1500 kW DC bij een celspanning van 0,7 volt. Voor het electrisch vermogen van 1500 kW treedt in de brandstofcel een energie-effect van 3250 kW op volgens het Aspen model. Stel dat er 2000 kW DC wordt gevraagd bij een celspanning van 0,5 V. Uit vergelijking (3) volgt dat bij 0,5 V de stroomsterkte ingevuld in (2) een fractie electrische energie levert van 0,33. Voor 2000 kW DC is het energie-effect in de brandstofcel dus  $\frac{2000}{0,33} = 6060$  kW. De hiermee gemoeide hoeveelheid dieselolie is  $85(g/s) * \frac{6060}{3246,8} \approx 160 g/s$ .

De resultaten van het Aspen model zijn naar andere nominale vermogens geschaald. Er wordt uitgegaan van een brandstofcel "stack" van 100 cellen. Er zijn in het model 7 van deze stacks in serie geschakeld. Om tot het gewenste nominale vermogen te komen wordt het oppervlak van de brandstofcel-plaat aangepast (in de praktijk kan dit door meerdere stacks parallel). De massastromen, zoals die in figuur 2 zijn weergegeven worden meegeschaald met het brandstofverbruik, behalve de koelwaterstroom. De koelwaterstroom wordt voor een deel geschaald aan de hand van de fractie van het ingevoerde vermogen, wat in warmte wordt omgezet. Het deel van de koelwaterstroom, nodig voor het terugwinnen van het water uit de afgassen van de brandstofcel, wordt geschaald met het brandstofverbruik.

## 6. Resultaten

In tabel 2 is een samenvatting van de resultaten van de berekeningen gegeven voor de nominale belasting. In bijlage D zijn uitgebreide tabellen opgenomen, waarin het gedrag van de brandstofcel bij deellast en vollast wordt gegeven. In de bijlage D zijn ook de massastromen, zoals die in figuur 2 zijn weergegeven, voor deellast en vollast gegeven.

*Tabel 2 Resultaten van reformer-brandstofcel combinatie met verschillende vermogens.*

Vermogen (AC)	1.000 kW	2.000 kW	3.000 kW	4.000 kW	5.000 kW	6.000 kW	7.000 kW
Verm.SPFC (kW) DC	1.438,5	2877,0	4.315,5	5.754,0	7.192,5	8.631,0	10.069,5
Opp. plaat (m <sup>2</sup> )	0,4595	0,9190	1,3785	1,8380	2,2975	2,7570	3,2165
Max. verm. AC (kW)	1.574	3.148	4.722	6.296	7.870	9.444	11.018
Max. parasitaire last (kW)	479,1	958,2	1.437,3	1916,4	2395,57	2.874,6	3353,8
Volume (m <sup>3</sup> )	130	368	677	1042	1456	1914	2412
Dieselolie (g/s)	81,6	163,2	244,8	326,42	408,02	489,62	571,23
Koelwater (g/s)	47.657	95.313	142.970	190.627	238.283	285.940	333.597
ZnS productie (g/s)	0,59	1,19	1,78	2,37	2,97	3,56	4,15

In de tweede rij van tabel 2 is het vermogen van de brandstofcel gegeven, welke hoort bij het nominale AC vermogen boven in de kolom. In de vierde rij van tabel 2 staat het maximale, netto AC vermogen wat beschikbaar is bij vollast. Het maximale parasitaire vermogen is in de vijfde rij gegeven. Het volume van het brandstofcelsysteem is in de zesde rij gegeven. Het volume is gebaseerd op het vermogen van de brandstofcel bij vollast en de cijfers berekend door ECN. Hierbij is nog geen rekening gehouden met de mogelijkheden van integratie van warmtewisselaars (deze zorgen voor meer dan de helft van het totaalvolume). Hiermee kan nog veel worden gewonnen. In de laatste drie rijen zijn de massastromen van dieselolie, koelwater en zinksulfide productie gegeven bij het nominale vermogen boven in de kolom.

De tabellen uit de bijlage D kunnen in een model van het brandstofcelsysteem in GES worden verwerkt. Daarmee is het stationaire gedrag van de brandstofcel met de dieselolie "steam reformer" beschreven tussen minimale en maximale belasting voor nominale systeemvermogens van 1000 kW tot en met 7000 kW in stappen van 1000 kW. Er is vanuit gegaan dat de steam reformer bij iedere belasting dezelfde kwaliteit waterstofgas produceert. Of dit werkelijk zo is, is in dit stadium niet na te gaan.

## 7. Conclusies

Door TNO Bouw is het zgn. GES programma ontwikkeld, waarmee parameter studies worden uitgevoerd aan de energievoorzieningssystemen van schepen. Door de voortgaande ontwikkelingen van brandstofcellen systemen is er behoefte aan een model voor het brandstofcelsysteem, uitgaande van NATO F76 dieselolie als brandstof.

Op basis van een studie door ECN op het gebied van brandstofcellen en dieselolie-reformers, uitgevoerd in opdracht van de Koninklijke Marine en aangevuld met literatuurinformatie en resultaten van eigen testen met betrekking tot brandstofcellen is in de onderhavige opdracht een model opgesteld (in het flowsheetprogramma Aspen) van een polymere brandstofcel (SPFC) met stoomreformer voor dieselolie incl. brandstof- en gasreiniging. Hiermede zijn voor nominale systeemvermogens van 1 t/m 7 MW (in stapgrootte van 1 MW) berekeningen uitgevoerd om deellast en vollast parameters te berekenen, alsmede zijn fysieke parameters bepaald. Deze resultaten, welke de brandstofcellen systemen karakteriseren zijn in tabelvorm gepresenteerd, zodanig dat die in het programma GES gebruikt kunnen worden.

## 8. Referenties

- [1] Groot, A. de, Dukers, P., Verhaak, M.J.F.M., Diesel reforming for hydrogen production in fuel cell applications, ECN-CX--97-071, februari 1998, confidential
- [2] J. van Vugt, GES User's Guide, version 1.05, TNO-CMC rapport nr. 90-CMC-R0294, 1996.
- [3] DERA review report "Fuel Processing" 1996
- [4] 2<sup>nd</sup> IEA Advanced Fuel Cell Workshop on "Fuel Processing for Modular ( $\leq 100$  kW) Fuel Cell Power Packages", Sept. 29-Oct. 1, 1997, Wislikhofen (Zwitserland)
- [5] SCAQMD Fuel Cell Reformer Conference, November 20, 1998, Los Angeles (Ca.)
- [6] Amphlett, J.C., Mann, R.F., Peppley, B.A., Roberge, P.R., Rodrigues, A., Salvador, J.P., Journal of Power Sources, 71 (1998) 179-184
- [7] Strasser, K., Journal of Power Sources, 37 (2) (1992) 209-222

## 9. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

TNO Defensie-onderzoek  
Postbus 6006  
2600 JA Delft

Namen en functies van de projectmedewerkers:

M. Nienoord - wetenschappelijk medewerker  
D. Schmal - projectleider


Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

juni 1997 - januari 1999

Ondertekening:



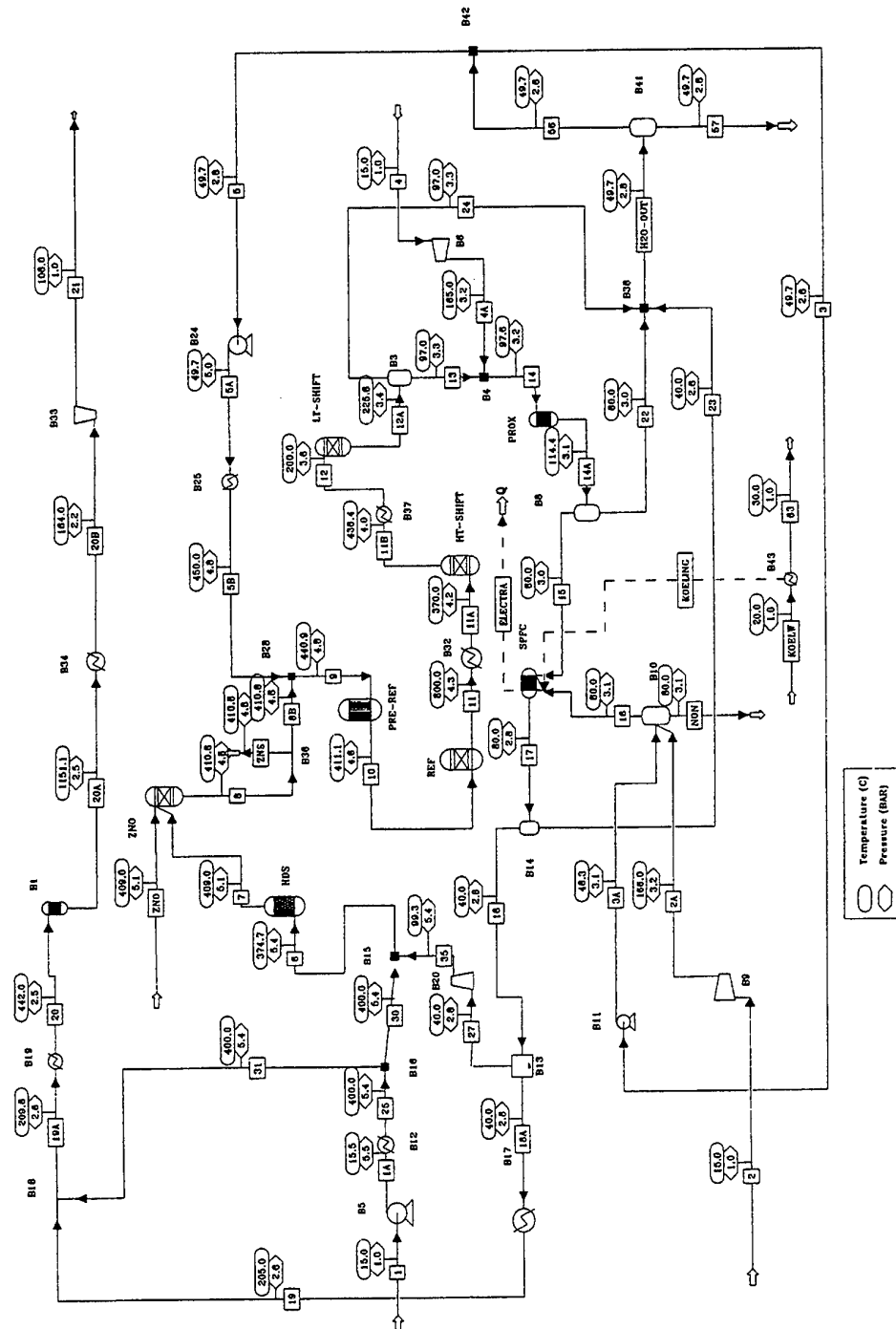
Dr.ir. D. Schmal  
projectleider

Goedgekeurd door:



Drs. A.E. Jansen  
afdelingshoofd

## Bijlage A Stroomschema van dieselolie-stoomreformer met brandstofcel (SPFC)





## Bijlage B      Samenvatting van vermogens van onderdelen van het Aspen-model

*Tabel 2.1      Thermische energie.*

Blok	Omschrijving	Vermogen (kW)	Tin (°C)	Tuit (°C)
B12	Dieselolieverdamer	99,156	15,47	400,00
B19	Voorverwarmer stookgas	437,800	209,83	442,00
B1	Verbrander	0,000	442,00	1151,08
B34	Koeler-overdrager	-1966,000	1151,08	164,00
B17	Verwarmer stookgas	290,180	40,00	205,00
B10	Luchtvochtiger-verdamper	297,560		80,00
B25	Waternverdamer REF	1098,400	49,69	450,00
B41	Gasscheider	0,000	52,14	52,14
B32	REF-koeler	-448,620	800,00	370,00
B37	HT-shift koeler	-235,690	436,37	200,00
B3	Condensor-LT-shift	-219,720	225,82	97,00
HDS	Hydrogendesulfering	5,602	374,70	409,05
ZnO	H2S-reactor	0,000	409,00	410,83
PRE-REF	Pre-reformer	-0,002	440,90	411,11
REF	Reformer	1055,300	411,11	800,00
HT-shift	Hoge temp. shift	0,000	370,00	436,38
LT-shift	Lage temp. shift	0,000	200,00	225,82
PROX	Preferentiele oxidatie	0,000	97,57	114,37
B8	Condensor-PROX	-183,310	114,37	80,00
	Som =	230,656		
	Luchtbevochtiging via SPFC	-230,656	80	80
	<b>Totaal</b>	<b>0,000</b>		

*Tabel 2.2      Electrische energie.*

Blok	Omschrijving	Vermogen (kW)	Tin (°C)	Tuit (°C)
B5	Dieseloliepomp	0,078	15,00	15,47
B20	H2-compressor	0,870	40,00	99,26
B33	Afgassen-expander	-102,352	164,00	105,99
B9	Luchtcompressor	238,694	15,00	165,99
B11	Waterpomp luchtvocht	0,013	49,66	49,70
B6	Luchtcompressor	1,145	15,00	165,00
B24	Waterpomp-REF	0,139	49,66	49,69
	Koelwater pompen :	4,974	20	30
	<b>Totaal</b>	<b>143,561</b>		

*Tabel 2.3 Afvoeren met koelwater*

Blok	Omschrijving	Vermogen (kW)	Tin (°C)	Tuit (°C)
B14	Condensor-SPFC	-561,120	80,00	40,00
B43	Rest warmte SPFC	-1518,144	80,00	80,00
	<b>Totaal</b>	<b>-2079,264</b>		

### Bijlage C Gegevens over stromen in het Aspen-model

STREAM ID	1	10	11	11A	11B
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	1.8698	81.5958	103.5388	103.5388	103.5388
KG/HR	306.3340	1532.0666	1532.0666	1532.0666	1532.0666
CUM/HR	0.3467	1005.6548	2149.1082	1317.1291	1526.7018
STATE VARIABLES:					
TEMP C	15.0000	411.1094	800.0000	370.0000	436.3782
PRES BAR	1.0132	4.6000	4.3000	4.2000	4.0000
VFRAC	0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
LFRAC	1.0000	0.0	0.0	0.0	0.0
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.0	7.8784-02	0.4017	0.4017	0.4629
O2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2O	0.0	0.6958	0.4206	0.4206	0.3594
N2	0.0	4.9750-04	3.9207-04	3.9207-04	3.9207-04
CO	0.0	9.6761-04	8.4993-02	8.4993-02	2.3798-02
CO2	0.0	8.7550-02	9.0730-02	9.0730-02	0.1519
C12H18	9.8450-02	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.8860	0.0	0.0	0.0	0.0
S	1.5500-02	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	0.1363	1.4938-03	1.4938-03	1.4938-03
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	0.0	12.9590	83.8469	83.8469	96.6196
O2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2O	0.0	1022.8720	784.6773	784.6773	670.5319
N2	0.0	1.1371	1.1371	1.1371	1.1371
CO	0.0	2.2115	246.4928	246.4928	69.0180
CO2	0.0	314.3932	413.4310	413.4310	692.2786
C12H18	29.8725	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	275.5322	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.9293	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	178.4936	2.4812	2.4812	2.4812
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING

## Bijlage C

STREAM ID	12	12A	13	14	14A
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	103.5388	103.5388	95.0845	96.0205	95.9275
KG/HR	1532.0666	1532.0666	1379.7377	1406.7417	1406.7417
CUM/HR	1129.0196	1261.4978	883.9168	922.0609	994.5098
STATE VARIABLES:					
TEMP C	200.0000	225.8162	97.0000	97.5681	114.3732
PRES BAR	3.6000	3.4000	3.3000	3.2000	3.1000
VFRAC	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
LFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.4629	0.4848	0.5279	0.5227	0.5232
O2	0.0	0.0	0.0	2.0471-03	1.0791-03
H2O	0.3594	0.3375	0.2786	0.2759	0.2762
N2	3.9207-04	3.9207-04	4.2692-04	8.1236-03	8.1315-03
CO	2.3798-02	1.8919-03	2.0601-03	2.0401-03	1.0210-04
CO2	0.1519	0.1738	0.1892	0.1874	0.1895
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	1.4938-03	1.4938-03	1.6266-03	1.6108-03	1.6123-03
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	96.6196	101.1918	101.1914	101.1914	101.1914
O2	0.0	0.0	0.0	6.2896	3.3122
H2O	670.5319	629.6710	477.3879	477.3879	477.3879
N2	1.1371	1.1371	1.1371	21.8514	21.8514
CO	69.0180	5.4869	5.4869	5.4869	0.2743
CO2	692.2786	792.0983	792.0530	792.0530	800.2429
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	2.4812	2.4812	2.4812	2.4812	2.4812
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING

## Bijlage C

STREAM ID	15	16	17	18	18A
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	82.6414	229.4332	291.9958	208.6331	207.1167
KG/HR	1167.3425	6233.5158	7400.8584	5898.8125	5855.2951
CUM/HR	807.6374	2167.5202	2563.4563	1936.6664	1922.6188
STATE VARIABLES:					
TEMP C	80.0000	80.0000	80.0000	40.0000	40.0000
PRES BAR	3.0000	3.1000	2.8000	2.8000	2.8000
VFRAC	1.0000	1.0000	0.8393	1.0000	0.9999
LFRAC	0.0	0.0	0.1606	0.0	5.4974-06
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.6074	9.6286-07	3.4382-02	4.8119-02	4.6020-02
O2	1.2525-03	0.1774	7.0987-02	9.9349-02	0.1000
H2O	0.1599	0.1551	0.3047	2.6963-02	2.6968-02
N2	9.4387-03	0.6673	0.5270	0.7376	0.7428
CO	1.1852-04	1.2324-09	3.3544-05	4.6947-05	4.7291-05
CO2	0.2200	1.7251-05	6.2279-02	8.7123-02	8.3313-02
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	1.8717-03	7.2816-09	5.2973-04	7.4138-04	7.0754-04
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2008-12
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2007-12
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	101.1906	4.4533-04	20.2382	20.2379	19.2144
O2	3.3122	1302.4528	663.2675	663.2539	663.2539
H2O	238.0793	641.4224	1602.9522	101.3442	100.6245
N2	21.8513	4289.4658	4311.3172	4311.2702	4310.1621
CO	0.2743	7.9203-06	0.2743	0.2743	0.2743
CO2	800.1531	0.1741	800.3273	799.9504	759.4147
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	2.4814	2.6802-05	2.4814	2.4814	2.3509
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0491-08
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5726-08
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	4.2834

## Bijlage C

STREAM ID	19	19A	1A	2	20
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	207.1167	207.5127	1.8698	193.8240	207.5127
KG/HR	5855.2951	5920.1714	306.3340	5591.8993	5920.1714
CUM/HR	3167.6829	3205.6921	0.3468	4580.2711	4938.2011
STATE VARIABLES:					
TEMP C	205.0000	209.8298	15.4690	15.0000	442.0000
PRES BAR	2.6000	2.6000	5.5200	1.0132	2.5000
VFRAC	1.0000	0.9999	0.0	1.0000	0.9999
LFRAC	0.0	3.0019-05	1.0000	0.0	2.9705-05
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	4.6020-02	4.5932-02	0.0	0.0	4.5932-02
O2	0.1000	9.9885-02	0.0	0.2100	9.9885-02
H2O	2.6968-02	2.6916-02	0.0	0.0	2.6916-02
N2	0.7428	0.7414	0.0	0.7900	0.7414
CO	4.7291-05	4.7200-05	0.0	0.0	4.7200-05
CO2	8.3313-02	8.3154-02	0.0	0.0	8.3154-02
C12H18	0.0	1.8787-04	9.8450-02	0.0	1.8787-04
C12H22	0.0	1.6909-03	0.8860	0.0	1.6909-03
S	0.0	2.9579-05	1.5500-02	0.0	2.9579-05
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	7.0754-04	7.0619-04	0.0	0.0	7.0619-04
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	19.2144	19.2144	0.0	0.0	19.2144
O2	663.2539	663.2539	0.0	1302.4484	663.2539
H2O	100.6245	100.6245	0.0	0.0	100.6245
N2	4310.1621	4310.1621	0.0	4289.4509	4310.1621
CO	0.2743	0.2743	0.0	0.0	0.2743
CO2	759.4147	759.4147	0.0	0.0	759.4147
C12H18	0.0	6.3264	29.8725	0.0	6.3264
C12H22	0.0	58.3529	275.5322	0.0	58.3529
S	0.0	0.1968	0.9293	0.0	0.1968
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	2.3509	2.3509	0.0	0.0	2.3509
H3O+	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	6.8878	MISSING	MISSING	MISSING

## Bijlage C

STREAM ID	20A	20B	21	22	23
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	204.4562	204.4562	204.4562	13.2859	83.3626
KG/HR	5920.1714	5920.1714	5920.1714	239.3982	1502.0458
CUM/HR	9806.0544	3422.7323	6357.2285	0.2464	1.5141
STATE VARIABLES:					
TEMP C	1151.0764	164.0000	105.9865	80.0000	40.0000
PRES BAR	2.4700	2.1700	1.0132	3.0000	2.8000
VFRAC	1.0000	1.0000	1.0000	0.0	0.0
LFRAC	0.0	0.0	0.0	1.0000	1.0000
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.0	0.0	0.0	2.4488-05	1.7771-06
O2	4.3427-02	4.3427-02	4.3427-02	5.5234-08	5.1229-06
H2O	9.5965-02	9.5965-02	9.5965-02	0.9998	0.9998
N2	0.7525	0.7525	0.7525	2.4286-07	2.0107-05
CO	4.7906-05	4.7906-05	4.7906-05	4.1093-09	1.8469-09
CO2	0.1080	0.1080	0.1080	1.5120-04	1.0176-04
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	3.0021-05	3.0021-05	3.0021-05	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	0.0	0.0	8.1374-08	4.0239-08
H3O+	0.0	0.0	0.0	1.1535-06	9.6752-07
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	1.1534-06	9.6750-07
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	7.2013-11	9.8547-12
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	1.4217-12	1.1207-12
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	0.0	0.0	0.0	6.5587-04	2.9865-04
O2	284.1128	284.1128	284.1128	2.3482-05	1.3665-02
H2O	353.4717	353.4717	353.4717	239.3078	1501.6050
N2	4310.1621	4310.1621	4310.1621	9.0390-05	4.6955-02
CO	0.2743	0.2743	0.2743	1.5293-06	4.3127-06
CO2	971.7571	971.7571	971.7571	8.8411-02	0.3733
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.3932	0.3932	0.3932	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	0.0	0.0	1.7344-05	5.3815-05
H3O+	0.0	0.0	0.0	2.9153-04	1.5343-03
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	9.3505-04	4.9213-03
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	1.6273-08	1.3972-08
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	1.1335-09	5.6065-09
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	MISSING	4.1981	4.2737

## Bijlage C

STREAM ID	24	25	27	2A	3
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	8.4542	1.8698	1.5163	193.8240	35.8697
KG/HR	152.3288	306.3340	43.5173	5591.8993	646.3115
CUM/HR	0.1586	17.0146	14.0311	2198.7580	0.6542
STATE VARIABLES:					
TEMP C	97.0000	400.0000	40.0000	165.9922	49.6616
PRES BAR	3.3000	5.4000	2.8000	3.2200	2.8000
VFRAC	0.0	0.9701	1.0000	1.0000	0.0
LFRAC	1.0000	2.9832-02	0.0	0.0	1.0000
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	2.4131-05	0.0	0.3348	0.0	6.1587-06
O2	0.0	0.0	0.0	0.2100	3.9285-06
H2O	0.9998	0.0	2.6344-02	0.0	0.9998
N2	1.2146-08	0.0	2.6086-02	0.7900	1.4981-05
CO	7.7945-08	0.0	0.0	0.0	7.8830-09
CO2	1.2083-04	0.0	0.6074	0.0	1.0932-04
C12H18	0.0	9.8450-02	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.8860	0.0	0.0	0.0
S	0.0	1.5500-02	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	7.4726-08	0.0	5.3630-03	0.0	4.6575-08
H3O+	9.5298-07	0.0	0.0	0.0	1.0225-06
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	9.5280-07	0.0	0.0	0.0	1.0225-06
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	1.7393-10	0.0	0.0	0.0	1.7041-11
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	1.3474-12	0.0	0.0	0.0	1.2531-12
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	4.1126-04	0.0	1.0234	0.0	4.4533-04
O2	0.0	0.0	0.0	1302.4484	4.5091-03
H2O	152.2827	0.0	0.7196	0.0	646.1159
N2	2.8766-06	0.0	1.1081	4289.4509	1.5053-02
CO	1.8458-05	0.0	0.0	0.0	7.9203-06
CO2	4.4956-02	0.0	40.5356	0.0	0.1725
C12H18	0.0	29.8725	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	275.5322	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.9293	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	1.0135-05	0.0	0.1304	0.0	2.6802-05
H3O+	1.5326-04	0.0	0.0	0.0	6.9772-04
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	4.9151-04	0.0	0.0	0.0	2.2379-03
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	2.5009-08	0.0	0.0	0.0	1.0396-08
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	6.8359-10	0.0	0.0	0.0	2.6974-09
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	4.2808	MISSING	MISSING	MISSING	4.2499



## Bijlage C

STREAM ID	30	31	35	3A	4
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	1.4738	0.3960	1.5163	35.8697	0.9360
KG/HR	241.4577	64.8762	43.5173	646.3115	27.0039
CUM/HR	13.4112	3.6034	8.6506	0.6660	22.1186
STATE VARIABLES:					
TEMP C	400.0000	400.0000	99.2608	48.2639	15.0000
PRES BAR	5.4000	5.4000	5.4000	3.1200	1.0132
VFRAC	0.9701	0.9701	1.0000	0.0	1.0000
LFRAC	2.9832-02	2.9832-02	0.0	1.0000	0.0
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.0	0.0	0.3348	6.1587-06	0.0
O2	0.0	0.0	0.0	3.9285-06	0.2100
H2O	0.0	0.0	2.6344-02	0.9998	0.0
N2	0.0	0.0	2.6086-02	1.4981-05	0.7900
CO	0.0	0.0	0.0	7.8830-09	0.0
CO2	0.0	0.0	0.6074	1.0932-04	0.0
C12H18	9.8450-02	9.8450-02	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.8860	0.8860	0.0	0.0	0.0
S	1.5500-02	1.5500-02	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	0.0	5.3630-03	4.6575-08	0.0
H3O+	0.0	0.0	0.0	1.0225-06	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	1.0225-06	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	1.7041-11	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	1.2531-12	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	0.0	0.0	1.0234	4.4533-04	0.0
O2	0.0	0.0	0.0	4.5091-03	6.2896
H2O	0.0	0.0	0.7196	646.1159	0.0
N2	0.0	0.0	1.1081	1.5053-02	20.7142
CO	0.0	0.0	0.0	7.9203-06	0.0
CO2	0.0	0.0	40.5356	0.1725	0.0
C12H18	23.5460	6.3264	0.0	0.0	0.0
C12H22	217.1792	58.3529	0.0	0.0	0.0
S	0.7325	0.1968	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	0.0	0.1304	2.6802-05	0.0
H3O+	0.0	0.0	0.0	6.9772-04	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	2.2379-03	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	0.0	1.0396-08	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	2.6974-09	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	MISSING	4.2459	MISSING

## Bijlage C

STREAM ID	4A	5	56	57	5A
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	0.9360	69.2329	105.1027	1.7822-04	69.2329
KG/HR	27.0039	1247.4584	1893.7699	4.5087-03	1247.4584
CUM/HR	10.6602	1.2626	1.9168	1.7059-03	1.2625
STATE VARIABLES:					
TEMP C	164.9999	49.6616	49.6616	49.6616	49.6926
PRES BAR	3.2000	2.8000	2.8000	2.8000	5.0200
VFRAC	1.0000	0.0	0.0	1.0000	0.0
LFRAC	0.0	1.0000	1.0000	0.0	1.0000
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.0	6.1587-06	6.1587-06	0.1692	6.1587-06
O2	0.2100	3.9285-06	3.9285-06	8.3581-02	3.9285-06
H2O	0.0	0.9998	0.9998	4.4212-02	0.9998
N2	0.7900	1.4981-05	1.4981-05	0.5890	1.4981-05
CO	0.0	7.8830-09	7.8830-09	2.1786-04	7.8830-09
CO2	0.0	1.0932-04	1.0932-04	0.1128	1.0932-04
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	4.6575-08	4.6575-08	9.5883-04	4.6575-08
H3O+	0.0	1.0225-06	1.0225-06	0.0	1.0226-06
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	1.0225-06	1.0225-06	0.0	1.0226-06
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	1.7041-11	1.7041-11	0.0	1.7073-11
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	1.2531-12	1.2531-12	0.0	1.2538-12
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	0.0	8.5955-04	1.3049-03	6.0790-05	8.5955-04
O2	6.2896	8.7030-03	1.3212-02	4.7664-04	8.7030-03
H2O	0.0	1247.0810	1893.1970	1.4195-04	1247.0810
N2	20.7142	2.9055-02	4.4108-02	2.9406-03	2.9055-02
CO	0.0	1.5287-05	2.3207-05	1.0875-06	1.5287-05
CO2	0.0	0.3330	0.5056	8.8485-04	0.3330
C12H18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.0	5.1731-05	7.8533-05	2.7414-06	5.1731-05
H3O+	0.0	1.3467-03	2.0444-03	0.0	1.3468-03
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	4.3195-03	6.5574-03	0.0	4.3199-03
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	2.0066-08	3.0462-08	0.0	2.0103-08
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	5.2064-09	7.9038-09	0.0	5.2092-09
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	4.2499	4.2499	MISSING	4.2498

## Bijlage C

STREAM ID	5B	6	63	7	8
TOTAL STREAM(incl.solids)					
KG/HR	1247.4584	284.9751	1.5065+05	284.9751	286.8349
SUBSTREAM: MIXED					
PHASE:	VAPOR	MIXED	LIQUID	VAPOR	VAPOR
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	69.2330	2.9902	8362.4473	2.9673	2.9673
KG/HR	1247.4584	284.9751	1.5065+05	284.9751	284.6081
CUM/HR	862.5517	28.7192	151.2933	32.6238	34.4537
STATE VARIABLES:					
TEMP C	450.0000	374.7021	30.0000	409.0450	410.8306
PRES BAR	4.8000	5.4000	1.0000	5.0500	4.8000
VFRAC	1.0000	0.9887	0.0	1.0000	1.0000
LFRAC	0.0	1.1211-02	1.0000	0.0	0.0
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	6.1587-06	0.1697	0.0	0.1633	0.1633
O2	3.9285-06	0.0	0.0	0.0	0.0
H2O	0.9998	1.3360-02	1.0000	1.3462-02	2.1161-02
N2	1.4981-05	1.3229-02	0.0	1.3331-02	1.3331-02
CO	7.8830-09	0.0	0.0	0.0	0.0
CO2	1.1034-04	0.3080	0.0	0.3103	0.3103
C12H18	0.0	4.8524-02	0.0	4.8898-02	4.8898-02
C12H22	0.0	0.4367	0.0	0.4400	0.4400
S	0.0	7.6397-03	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	7.6985-03	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	4.6575-08	2.7197-03	0.0	2.7406-03	2.7406-03
H3O+	0.0	0.0	2.1726-09	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	2.1726-09	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	8.5955-04	1.0234	0.0	0.9774	0.9774
O2	8.7030-03	0.0	0.0	0.0	0.0
H2O	1247.0836	0.7196	1.5065+05	0.7196	1.1312
N2	2.9055-02	1.1081	0.0	1.1081	1.1081
CO	1.5287-05	0.0	0.0	0.0	0.0
CO2	0.3362	40.5356	0.0	40.5356	40.5356
C12H18	0.0	23.5460	0.0	23.5460	23.5460
C12H22	0.0	217.1792	0.0	217.1792	217.1792
S	0.0	0.7325	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.7785	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	5.1731-05	0.1304	0.0	0.1304	0.1304
H3O+	0.0	0.0	3.4562-04	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	3.0901-04	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	7.9840	6.9188	MISSING	MISSING

## Bijlage C

5B 6 63 7 8 (CONTINUED)

STREAM ID	5B	6	63	7	8
SUBSTREAM: SOLIDS					
TOTAL SOLIDS FLOW:					
KMOL/HR	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2850-02
KG/HR	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2267
CUM/HR	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8541-04
STATE VARIABLES:					
TEMP C	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	410.8306
PRES BAR	4.8000	5.4000	1.0000	5.0500	4.8000
VFRAC	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	0.0
LFRAC	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	0.0
SFRAC	MISSING	MISSING	MISSING	MISSING	1.0000
COMPONENTS: MOLE FRAC					
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3983-04
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9997
COMPONENTS: KG/HR					
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4603-04
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2263

## Bijlage C

STREAM ID	8B	9	H2O-OUT	KOELW	NON
TOTAL FLOW:					
KMOL/HR	2.9673	72.2004	105.1029	8362.4473	0.2606
KG/HR	284.6081	1532.0666	1893.7744	1.5065+05	4.6950
CUM/HR	34.4537	887.7982	1.9186	150.9037	4.8318-03
STATE VARIABLES:					
TEMP C	410.8306	440.9003	49.6626	20.0000	80.0000
PRES BAR	4.8000	4.8000	2.8000	1.0000	3.1000
VFRAC	1.0000	1.0000	1.6964-06	0.0	0.0
LFRAC	0.0	0.0	1.0000	1.0000	1.0000
SFRAC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: MOLE FRAC					
H2	0.1633	6.7213-03	6.4456-06	0.0	4.0156-11
O2	0.0	3.7670-06	4.0702-06	0.0	8.0844-06
H2O	2.1161-02	0.9596	0.9998	1.0000	0.9999
N2	1.3331-02	5.6224-04	1.5980-05	0.0	1.7747-05
CO	0.0	7.5590-09	8.2524-09	0.0	0.0
CO2	0.3103	1.2863-02	1.0951-04	0.0	1.2235-08
C12H18	4.8898-02	2.0097-03	0.0	0.0	0.0
C12H22	0.4400	1.8087-02	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	2.7406-03	1.1268-04	4.8201-08	0.0	0.0
H3O+	0.0	0.0	1.0225-06	1.4864-09	1.3669-08
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	1.0225-06	0.0	7.7318-09
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	1.7246-11	1.4864-09	5.9657-09
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	1.2591-12	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR					
H2	0.9774	0.9782	1.3657-03	0.0	2.1096-11
O2	0.0	8.7030-03	1.3689-02	0.0	6.7417-05
H2O	1.1312	1248.2148	1893.1971	1.5065+05	4.6948
N2	1.1081	1.1371	4.7049-02	0.0	1.2956-04
CO	0.0	1.5287-05	2.4295-05	0.0	0.0
CO2	40.5356	40.8718	0.5065	0.0	1.4033-07
C12H18	23.5460	23.5460	0.0	0.0	0.0
C12H22	217.1792	217.1792	0.0	0.0	0.0
S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZNS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH4	0.1304	0.1305	8.1274-05	0.0	0.0
H3O+	0.0	0.0	2.0444-03	2.3645-04	6.7766-08
HSO3-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0	6.5574-03	0.0	1.2295-07
HS-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0	3.0828-08	2.1140-04	2.6442-08
SO3--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0	7.9413-09	0.0	0.0
S--	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
*** LIQUID PHASE ***					
PH	MISSING	MISSING	4.2499	7.0836	6.1203

## Bijlage C

STREAM ID	ZNO	ZNS
TOTAL FLOW:		
KMOL/HR	2.2850-02	2.2850-02
KG/HR	1.8597	2.2267
CUM/HR	3.2762-04	6.8541-04
STATE VARIABLES:		
TEMP C	409.0000	410.8306
PRES BAR	5.0500	4.8000
VFRAC	0.0	0.0
LFRAC	0.0	0.0
SFRAC	1.0000	1.0000
COMPONENTS: MOLE FRAC		
H2	0.0	0.0
O2	0.0	0.0
H2O	0.0	0.0
N2	0.0	0.0
CO	0.0	0.0
CO2	0.0	0.0
C12H18	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0
S	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0
ZNO	1.0000	2.3983-04
ZNS	0.0	0.9997
CH4	0.0	0.0
H3O+	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0
S--	0.0	0.0
COMPONENTS: KG/HR		
H2	0.0	0.0
O2	0.0	0.0
H2O	0.0	0.0
N2	0.0	0.0
CO	0.0	0.0
CO2	0.0	0.0
C12H18	0.0	0.0
C12H22	0.0	0.0
S	0.0	0.0
H2S	0.0	0.0
SO2	0.0	0.0
ZNO	1.8597	4.4603-04
ZNS	0.0	2.2263
CH4	0.0	0.0
H3O+	0.0	0.0
HSO3-	0.0	0.0
HCO3-	0.0	0.0
HS-	0.0	0.0
OH-	0.0	0.0
SO3--	0.0	0.0
CO3--	0.0	0.0
S--	0.0	0.0

STREAM ID		ELECTRA	KOELING
HEAT			
Q	WATT	1.5000+06	-1.7488+06

## **Bijlage D    Berekeningsresultaten voor nominale vermogens van 1 t/m 7 MW bij 440 AC met vermogensvariatie**



## Nominaal 1000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_o =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	0,4595 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	479,11 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC					Totaal					Verlies		AC	Netto
	Spanning per plaat	Spanning serie stacks	stroom per plaat	Totale stroom sterkte	Vermogen serie stacks	energie input waterstof	vermogen afvoeren met koelwater	pomp vermogen koelwater (dP=1 bar)	terug levering door expander	DC-AC converter (4%)	AC stroom sterkte	beschikbaar vermogen AC		
	(volt)	(volt)	(A/m2)	(A)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(A)	(kW)		(kW)
Maximum	0,4650	325,50	12.916,7	5.935,2	1931,9	6,295	5,004	11,97	198,44	77,28	4.215,1	1.574		
	0,4800	336,00	12.500,0	5.743,8	1929,9	6,092	4,782	11,44	192,04	77,20	4.210,7	1.566		
	0,5000	350,00	11.944,4	5.488,5	1921,0	5,821	4,493	10,75	183,51	76,84	4.191,2	1.549		
	0,5200	364,00	11.388,9	5.233,2	1904,9	5,550	4,210	10,07	174,97	76,20	4.156,1	1.525		
	0,5400	378,00	10.833,3	4.977,9	1881,7	5,280	3,935	9,41	166,44	75,27	4.105,4	1.494		
	0,5600	392,00	10.277,8	4.722,7	1851,3	5,009	3,667	8,77	157,90	74,05	4.039,2	1.456		
	0,5800	406,00	9.722,2	4.467,4	1813,8	4,738	3,407	8,15	149,37	72,55	3.957,3	1.411		
	0,6000	420,00	9.166,7	4.212,1	1769,1	4,467	3,153	7,54	140,83	70,76	3.859,8	1.360		
	0,6200	434,00	8.611,1	3.956,8	1717,3	4,197	2,907	6,95	132,30	68,69	3.746,8	1.302		
	0,6400	448,00	8.055,6	3.701,5	1658,3	3,926	2,667	6,38	123,76	66,33	3.618,1	1.237		
	0,6600	462,00	7.500,0	3.446,3	1592,2	3,655	2,435	5,83	115,23	63,69	3.473,8	1.165		
	0,6800	476,00	6.944,4	3.191,0	1518,9	3,384	2,210	5,29	106,69	60,76	3.314,0	1.086		
Nominaal	0,7000	490,00	6.388,9	2.935,7	1438,5	3,114	1,992	4,77	98,16	57,54	3.138,5	1.000		
	0,7200	504,00	5.833,3	2.680,4	1350,9	2,843	1,781	4,26	89,62	54,04	2.947,5	907		
	0,7400	518,00	5.277,8	2.425,2	1256,2	2,572	1,578	3,77	81,08	50,25	2.740,9	808		
	0,7600	532,00	4.722,2	2.169,9	1154,4	2,301	1,381	3,30	72,55	46,17	2.518,6	702		
	0,7800	546,00	4.166,7	1.914,6	1045,4	2,031	1,192	2,85	64,01	41,81	2.280,8	588		
	0,8000	560,00	3.611,1	1.659,3	929,2	1,760	1,010	2,42	55,48	37,17	2.027,4	468		
	0,8200	574,00	3.055,6	1.404,0	805,9	1,489	835	2,00	46,94	32,24	1.758,4	342		
	0,8400	588,00	2.500,0	1.148,8	675,5	1,218	667	1,60	38,41	27,02	1.473,7	208		
Minimum	0,8692	608,45	1.688,4	775,8	472,1	823	435	1,04	25,94	18,88	1.029,9	0		

	Massastromen										
	Diesel olie	Lucht PROX	ZnO	ZnS	Lucht SPFC	Water bevocht lucht	Water naar REF.	Condens uit REF.	Condens uit SPFC	Koelwater	
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	Afgas (dT = 10 °C)	g/s
Maximum	184,98	14,54	1,00	1,20	3,012	348,08	671,84	210,97	808,95	3.188,4	119,707
	159,66	14,07	0,97	1,16	2,914	336,85	650,17	204,17	782,86	3.085,6	114,403
	152,56	13,45	0,93	1,11	2,785	321,88	621,27	195,09	748,06	2.948,4	107,480
	145,47	12,82	0,88	1,06	2,655	306,91	592,38	185,02	713,27	2.811,3	100,728
	138,37	12,20	0,84	1,01	2,526	291,94	563,48	176,94	678,48	2.674,2	94,147
	131,28	11,57	0,80	0,95	2,396	276,97	534,58	167,87	643,68	2.537,0	87,737
	124,18	10,95	0,75	0,90	2,267	262,00	505,69	158,80	608,89	2.399,9	81,498
	117,08	10,32	0,71	0,85	2,137	247,03	476,79	149,72	574,10	2.262,7	75,431
	109,99	9,70	0,67	0,80	2,008	232,06	447,89	140,65	539,30	2.125,6	69,534
	102,89	9,07	0,62	0,75	1,878	217,08	419,00	131,57	504,51	1.988,5	63,808
	95,80	8,44	0,58	0,70	1,749	202,11	390,10	122,50	469,71	1.851,3	58,253
	88,70	7,82	0,54	0,64	1,619	187,14	361,20	113,43	434,82	1.714,2	52,869
Nominaal	81,60	7,19	0,50	0,59	1,490	172,17	332,31	104,35	400,13	1.577,1	47,657
	74,51	6,57	0,45	0,54	1,360	157,20	303,41	95,28	365,33	1.439,9	42,615
	67,41	5,94	0,41	0,49	1,231	142,23	274,52	86,20	330,54	1.302,8	37,744
	60,32	5,32	0,37	0,44	1,101	127,26	245,62	77,13	295,75	1.165,7	33,044
	53,22	4,69	0,32	0,39	971	112,28	216,72	68,06	260,95	1.028,5	28,515
	46,12	4,07	0,28	0,34	842	97,31	187,83	58,98	226,16	891,4	24,158
	39,03	3,44	0,24	0,28	712	82,34	158,93	49,91	191,37	754,2	19,971
	31,93	2,81	0,19	0,23	583	67,37	130,03	40,83	156,57	617,1	15,955
Minimum	21,57	1,90	0,13	0,16	394	45,50	87,82	27,58	105,74	416,8	10,395

## Nominaal 2000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_0 =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	0,9190 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	958,23 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC					Totaal					Verlies DC-AC converter (4%)	AC stroom sterkte	Netto beschikbaar vermogen AC
	Spanning per plaat	Spanning serie stacks	stroom per plaat	Totale stroom sterkte	Vermogen serie stacks	energie input waterstof	vermogen afvoeren met koelwater	pomp vermogen (dP=1 bar)	terug levering door expander				
										(volt)			
Maximum	0,4650	325,50	12.916,7	11.870,5	3863,8	12,590	10,008	23,94	396,89	154,55	8.430,2	3.148	
	0,4800	336,00	12.500,0	11.487,6	3859,8	12,184	9,564	22,88	384,09	154,39	8.421,4	3.131	
	0,5000	350,00	11.944,4	10.977,0	3842,0	11,642	8,985	21,50	367,02	153,68	8.382,4	3.097	
	0,5200	364,00	11.388,9	10.466,5	3809,8	11,101	8,421	20,15	349,95	152,39	8.312,3	3.049	
	0,5400	378,00	10.833,3	9.955,9	3763,3	10,559	7,871	18,83	332,88	150,53	8.210,9	2.987	
	0,5600	392,00	10.277,8	9.445,3	3702,6	10,018	7,335	17,55	315,80	148,10	8.078,3	2.912	
	0,5800	406,00	9.722,2	8.934,8	3627,5	9,476	6,813	16,30	298,73	145,10	7.914,6	2.823	
	0,6000	420,00	9.166,7	8.424,2	3538,2	8,935	6,306	15,09	281,66	141,53	7.719,6	2.720	
	0,6200	434,00	8.611,1	7.913,7	3434,5	8,393	5,813	13,91	264,59	137,38	7.493,5	2.604	
	0,6400	448,00	8.055,6	7.403,1	3316,6	7,852	5,334	12,76	247,52	132,66	7.236,2	2.473	
	0,6600	462,00	7.500,0	6.892,5	3184,4	7,310	4,870	11,65	230,45	127,37	6.947,7	2.329	
	0,6800	476,00	6.944,4	6.382,0	3037,8	6,769	4,420	10,57	213,38	121,51	6.628,0	2.171	
Nominaal	0,7000	490,00	6.388,9	5.871,4	2877,0	6,227	3,984	9,53	196,31	115,08	6.277,1	2.000	
	0,7200	504,00	5.833,3	5.360,9	2701,9	5,686	3,563	8,52	179,24	108,08	5.895,0	1.815	
	0,7400	518,00	5.277,8	4.850,3	2512,5	5,144	3,155	7,55	162,17	100,50	5.481,7	1.616	
	0,7600	532,00	4.722,2	4.339,7	2308,7	4,603	2,762	6,61	145,10	92,35	5.037,3	1.403	
	0,7800	546,00	4.166,7	3.829,2	2090,7	4,061	2,384	5,70	128,03	83,63	4.561,6	1.177	
	0,8000	560,00	3.611,1	3.318,6	1858,4	3,520	2,020	4,83	110,96	74,34	4.054,8	937	
	0,8200	574,00	3.055,6	2.808,1	1611,8	2,978	1,670	3,99	93,89	64,47	3.516,7	683	
	0,8400	588,00	2.500,0	2.297,5	1350,9	2,437	1,334	3,19	76,82	54,04	2.947,5	415	
Minimum	0,8692	608,45	1.688,4	1.551,7	944,1	1,646	869	2,08	51,88	37,76	2.059,9	0	

	Massastromen									
	Diesel olie g/s	Lucht PROX g/s	ZnO g/s	ZnS g/s	Lucht SPFC g/s	Water bevocht lucht g/s	Water naar REF. g/s	Condens uit REF. g/s	Condens uit SPFC g/s	Koelwater Afgas(dT = 10 °C) g/s
Maximum	329,96	29,09	2,00	2,40	6,023	696,17	1343,68	421,94	1617,91	6.376,8
	319,32	28,15	1,94	2,32	5,829	673,71	1300,34	408,33	1565,72	6.171,1
	305,13	26,90	1,85	2,22	5,570	643,77	1242,55	390,18	1496,13	5.896,9
	290,94	25,65	1,77	2,11	5,311	613,82	1184,75	372,04	1426,54	5.622,6
	276,74	24,40	1,68	2,01	5,052	583,88	1126,96	353,89	1356,96	5.348,3
	262,55	23,14	1,59	1,91	4,793	553,94	1069,17	335,74	1287,37	5.074,0
	248,36	21,89	1,51	1,80	4,534	524,00	1011,37	317,59	1217,78	4.799,8
	234,17	20,64	1,42	1,70	4,275	494,05	953,58	299,44	1148,19	4.525,5
	219,98	19,39	1,34	1,60	4,015	464,11	895,79	281,30	1078,61	4.251,2
	205,78	18,14	1,25	1,50	3,756	434,17	838,00	263,15	1009,02	3.977,0
Nominaal	191,59	16,89	1,16	1,39	3,497	404,23	780,20	245,00	939,43	3.702,7
	177,40	15,64	1,08	1,29	3,238	374,28	722,41	226,85	869,84	3.428,4
	163,21	14,39	0,99	1,19	2,979	344,34	664,62	208,70	800,26	3.154,1
	149,02	13,14	0,90	1,08	2,720	314,40	606,82	190,56	730,67	2.879,9
	134,82	11,88	0,82	0,98	2,461	284,45	549,03	172,41	661,08	2.605,6
	120,63	10,63	0,73	0,88	2,202	254,51	491,24	154,26	591,49	2.331,3
	106,44	9,38	0,65	0,77	1,943	224,57	433,45	136,11	521,91	2.057,0
	92,25	8,13	0,56	0,67	1,684	194,63	375,65	117,96	452,32	1.782,8
	78,06	6,88	0,47	0,57	1,425	164,68	317,86	99,81	382,73	1.508,5
	63,86	5,63	0,39	0,46	1,166	134,74	260,07	81,67	313,14	1.234,2
Minimum	43,13	3,80	0,26	0,31	787	91,00	175,64	55,15	211,49	833,6

## Nominaal 3000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_0 =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	1,3785 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	1437,34 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC						Totaal vermogen						Verlies DC-AC converter (4%)	AC stroomsterkte	Netto beschikbaar vermogen
	Spanning per plaat	Spanning serie stacks	stroom per plaat	Totale stroomsterkte	Vermogen serie stacks	energie input waterstof	afvoeren met koelwater	pomp vermogen met koelwater (dP=1 bar)	terug levering door expander						
	(volt)	(volt)	(A/m2)	(A)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)						
Maximum	0,4650	325,50	12.916,7	17.805,7	5795,8	18.885	15.011	35,91	595,33	231,83	12.645,3	4.722			
	0,4800	336,00	12.500,0	17.231,4	5789,7	18.276	14.346	34,32	576,13	231,59	12.632,2	4.697			
	0,5000	350,00	11.944,4	16.465,5	5762,9	17.463	13.478	32,24	550,52	230,52	12.573,7	4.646			
	0,5200	364,00	11.388,9	15.699,7	5714,7	16.651	12.631	30,22	524,92	228,59	12.468,4	4.574			
	0,5400	378,00	10.833,3	14.933,8	5645,0	15.839	11.806	28,24	499,31	225,80	12.316,4	4.481			
	0,5600	392,00	10.277,8	14.168,0	5553,9	15.027	11.002	26,32	473,71	222,15	12.117,5	4.368			
	0,5800	406,00	9.722,2	13.402,2	5441,3	14.214	10.220	24,45	448,10	217,65	11.871,9	4.234			
	0,6000	420,00	9.166,7	12.636,3	5307,3	13.402	9.459	22,63	422,50	212,29	11.579,5	4.080			
	0,6200	434,00	8.611,1	11.870,5	5151,8	12.590	8.720	20,86	396,89	206,07	11.240,3	3.905			
	0,6400	448,00	8.055,6	11.104,7	4974,9	11.778	8.002	19,14	371,28	199,00	10.854,3	3.710			
	0,6600	462,00	7.500,0	10.338,8	4776,5	10.965	7.305	17,48	345,68	191,06	10.421,5	3.494			
	0,6800	476,00	6.944,4	9.573,0	4556,7	10.153	6.630	15,86	320,07	182,27	9.942,0	3.257			
	Nominaal	0,7000	490,00	6.388,9	8.807,1	4315,5	9.341	5.976	14,30	294,47	172,62	9.415,6	3.000		
		0,7200	504,00	5.833,3	8.041,3	4052,8	8.529	5.344	12,78	268,86	162,11	8.842,5	2.722		
		0,7400	518,00	5.277,8	7.275,5	3768,7	7.716	4.733	11,32	243,26	150,75	8.222,6	2.424		
		0,7600	532,00	4.722,2	6.509,6	3463,1	6.904	4.144	9,91	217,65	138,52	7.555,9	2.105		
0,7800		546,00	4.166,7	5.743,8	3136,1	6.092	3.576	8,55	192,04	125,44	6.842,4	1.765			
0,8000		560,00	3.611,1	4.977,9	2787,7	5.280	3.029	7,25	166,44	111,51	6.082,1	1.405			
	0,8200	574,00	3.055,6	4.212,1	2417,8	4.467	2.504	5,99	140,83	96,71	5.275,1	1.025			
	0,8400	588,00	2.500,0	3.446,3	2026,4	3.655	2.001	4,79	115,23	81,06	4.421,3	623			
	0,8692	608,45	1.688,4	2.327,5	1416,2	2.469	1.304	3,12	77,82	56,65	3.089,8	0			
	Minimum														

	Massastromen									
	Diesel olie	Lucht PROX	ZnO	ZnS	Lucht SPFC	Water bevocht lucht	Water naar REF.	Condens uit REF.	Condens uit SPFC	Koelwater uit Afgas (dT = 10 °C)
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s
Maximum	494,95	43,63	3,00	3,60	9.035	1044,25	2015,53	632,92	2426,86	9.565,3
	478,98	42,22	2,91	3,48	8.743	1010,56	1950,51	612,50	2348,58	9.256,7
	457,69	40,35	2,78	3,33	8.355	965,65	1863,82	585,28	2244,20	8.845,3
	436,40	38,47	2,65	3,17	7.966	920,74	1777,13	558,05	2139,82	8.433,9
	415,12	36,59	2,52	3,02	7.578	875,82	1690,44	530,83	2035,44	8.022,5
	393,83	34,72	2,39	2,86	7.189	830,91	1603,75	503,61	1931,05	7.611,1
	372,54	32,84	2,26	2,71	6.800	785,99	1517,06	476,39	1826,67	7.199,7
	351,25	30,96	2,13	2,55	6.412	741,08	1430,37	449,17	1722,29	6.788,2
	329,96	29,09	2,00	2,40	6.023	696,17	1343,68	421,94	1617,91	6.376,8
	308,68	27,21	1,87	2,24	5.635	651,25	1256,99	394,72	1513,53	5.965,4
	287,39	25,33	1,74	2,09	5.246	606,34	1170,31	367,50	1409,15	5.554,0
	266,10	23,46	1,62	1,93	4.857	561,42	1083,62	340,28	1304,77	5.142,6
	244,81	21,58	1,49	1,78	4.469	516,51	996,93	313,06	1200,38	4.731,2
	223,52	19,70	1,36	1,62	4.080	471,60	910,24	285,83	1096,00	4.319,8
	202,24	17,83	1,23	1,47	3.692	426,68	823,55	258,61	991,62	3.908,4
	Nominaal	180,95	15,95	1,10	1,32	3.303	381,77	736,86	231,39	887,24
159,66		14,07	0,97	1,16	2.914	336,85	650,17	204,17	782,86	3.085,6
138,37		12,20	0,84	1,01	2.526	291,94	563,48	176,94	678,48	2.674,2
117,08		10,32	0,71	0,85	2.137	247,03	476,79	149,72	574,10	2.262,7
95,80		8,44	0,58	0,70	1.749	202,11	390,10	122,50	469,72	1.851,3
64,70		5,70	0,39	0,47	1.181	136,50	263,46	82,73	317,23	1.250,3
Minimum										

## Nominaal 4000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_0 =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	1,8380 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	1916,46 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC					Totaal						Netto beschikbaar vermogen
	Spanning per plaat	Spanning serie stacks	stroom per plaat	Totale stroom sterkte	Vermogen serie stacks	energie input waterstof	vermogen afvoeren met koelwater	pomp vermogen met koelwater (dP=1 bar)	terug levering door expander	Verlies DC-AC converter (4%)	AC stroom sterkte	
	(volt)	(volt)	(A/m2)	(A)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(A)	(kW)
Maximum	0,4650	325,50	12,916,7	23.741,0	7727,7	25,180	20,015	47,88	793,78	309,11	16.860,4	6,296
	0,4800	336,00	12,500,0	22.975,1	7719,6	24,368	19,128	45,76	768,17	308,79	16.842,9	6,263
	0,5000	350,00	11,944,4	21.954,0	7683,9	23,285	17,971	42,99	734,03	307,36	16.764,9	6,194
	0,5200	364,00	11,388,9	20.932,9	7619,6	22,202	16,842	40,29	699,89	304,78	16.624,5	6,098
	0,5400	378,00	10,833,3	19.911,8	7526,7	21,119	15,741	37,66	665,75	301,07	16.421,8	5,975
	0,5600	392,00	10,277,8	18.890,7	7405,1	20,036	14,670	35,09	631,61	296,21	16.156,7	5,824
	0,5800	406,00	9,722,2	17,869,6	7255,0	18,953	13,627	32,60	597,47	290,20	15,829,2	5,646
	0,6000	420,00	9,166,7	16,848,4	7076,3	17,870	12,612	30,17	563,33	283,05	15,439,3	5,440
	0,6200	434,00	8,611,1	15,827,3	6869,1	16,787	11,626	27,81	529,19	274,76	14,987,0	5,207
	0,6400	448,00	8,055,6	14,806,2	6633,2	15,704	10,669	25,52	495,05	265,33	14,472,4	4,946
	0,6600	462,00	7,500,0	13,785,1	6368,7	14,621	9,740	23,30	460,90	254,75	13,895,4	4,658
	0,6800	476,00	6,944,4	12,764,0	6075,6	13,538	8,840	21,15	426,76	243,03	13,256,0	4,343
	0,7000	490,00	6,388,9	11,742,8	5754,0	12,455	7,968	19,06	392,62	230,16	12,554,2	4,000
	0,7200	504,00	5,833,3	10,721,7	5403,8	11,372	7,125	17,05	358,48	216,15	11,790,0	3,630
	0,7400	518,00	5,277,8	9,700,6	5024,9	10,289	6,311	15,10	324,34	201,00	10,963,5	3,232
Nominaal	0,7600	532,00	4,722,2	8,679,5	4617,5	9,206	5,525	13,22	290,20	184,70	10,074,5	2,807
	0,7800	546,00	4,166,7	7,658,4	4181,5	8,123	4,768	11,41	256,06	167,26	9,123,2	2,354
	0,8000	560,00	3,611,1	6,637,3	3716,9	7,040	4,039	9,66	221,92	148,67	8,109,5	1,874
	0,8200	574,00	3,055,6	5,616,1	3223,7	5,957	3,339	7,99	187,78	128,95	7,033,5	1,366
	0,8400	588,00	2,500,0	4,595,0	2701,9	4,874	2,668	6,38	153,63	108,08	5,895,0	831
	0,8692	608,45	1,688,4	3,103,3	1888,2	3,291	1,738	4,16	103,76	75,53	4,119,8	0

	Massastromen										
	Diesel olie	Lucht PROX	ZnO	ZnS	Lucht SPFC	Water bevocht lucht	Water naar REF.	Condens uit REF.	Condens uit SPFC	Afgas (dT = 10 °C)	Koelwater
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s
Maximum	659,93	58,17	4,01	4,80	12,046	1392,33	2687,37	843,89	3235,82	12.753,7	478,828
	638,64	56,30	3,88	4,64	11,658	1347,42	2600,68	816,66	3131,44	12.342,3	457,611
	610,26	53,80	3,70	4,44	11,140	1287,53	2485,09	780,37	2992,26	11.793,7	429,919
	581,87	51,29	3,53	4,23	10,622	1227,65	2369,51	744,07	2853,09	11.245,2	402,912
	553,49	48,79	3,36	4,02	10,104	1167,76	2253,92	707,78	2713,91	10.696,6	376,589
	525,10	46,29	3,19	3,82	9,585	1107,88	2138,33	671,48	2574,74	10.148,1	350,950
	496,72	43,79	3,02	3,61	9,067	1047,99	2022,75	635,18	2435,56	9.599,5	325,994
	468,34	41,28	2,84	3,40	8,549	988,11	1907,16	598,89	2296,39	9.051,0	301,723
	439,95	38,78	2,67	3,20	8,031	928,22	1791,58	562,59	2157,21	8.502,4	278,136
	411,57	36,28	2,50	2,99	7,513	868,34	1675,99	526,30	2018,04	7.953,9	255,233
	383,18	33,78	2,33	2,78	6,995	808,45	1560,41	490,00	1878,86	7.405,4	233,013
	354,80	31,28	2,15	2,58	6,477	748,57	1444,82	453,70	1739,69	6.856,8	211,478
	326,42	28,77	1,98	2,37	5,958	688,68	1329,24	417,41	1600,51	6.308,3	190,627
	298,03	26,27	1,81	2,17	5,440	628,80	1213,65	381,11	1461,34	5.759,7	170,460
	269,65	23,77	1,64	1,96	4,922	568,91	1098,06	344,81	1322,16	5.211,2	150,976
Nominaal	241,26	21,27	1,46	1,75	4,404	509,02	982,48	308,52	1182,99	4.662,6	132,177
	212,88	18,77	1,29	1,55	3,886	449,14	866,89	272,22	1043,81	4.114,1	114,062
	184,50	16,26	1,12	1,34	3,368	389,25	751,31	235,93	904,64	3.565,5	96,631
	156,11	13,76	0,95	1,13	2,850	329,37	635,72	199,63	765,46	3.017,0	79,883
	127,73	11,26	0,78	0,93	2,332	269,48	520,14	163,33	626,29	2.468,5	63,820
Minimum											
	86,26	7,60	0,52	0,63	1,575	182,00	351,28	110,31	422,97	1.667,1	41,584

## Nominaal 5000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_o =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	2,2975 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	2395,57 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC					Totaal vermogen							Netto beschikbaar vermogen
	Spanning per plaat	Spanning serie stacks	stroom per plaat	Totale stroom sterkte	Vermogen serie stacks	energie input waterstof	afvoeren met koelwater	pomp vermogen (dP=1 bar)	terug levering door expander	Verlies DC-AC converter (4%)	AC stroom sterkte		
	(volt)	(volt)	(A/m2)	(A)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(kW)	(A)	(kW)	
Maximum	0,4650	325,50	12.916,7	29.676,2	9659,6	31.475	25.019	59,85	992,22	386,38	21.075,5	7.870	
	0,4800	336,00	12.500,0	28.718,9	9649,6	30.459	23.910	57,20	960,22	385,98	21.053,6	7.828	
	0,5000	350,00	11.944,4	27.442,5	9604,9	29.106	22.463	53,74	917,54	384,20	20.956,1	7.743	
	0,5200	364,00	11.388,9	26.166,1	9524,5	27.752	21.052	50,36	874,86	380,98	20.780,7	7.623	
	0,5400	378,00	10.833,3	24.889,7	9408,3	26.398	19.677	47,07	832,19	376,33	20.527,2	7.469	
	0,5600	392,00	10.277,8	23.613,3	9256,4	25.044	18.337	43,87	789,51	370,26	20.195,8	7.280	
	0,5800	406,00	9.722,2	22.336,9	9068,8	23.691	17.033	40,75	746,84	362,75	19.786,5	7.057	
	0,6000	420,00	9.166,7	21.060,5	8845,4	22.337	15.765	37,72	704,16	353,82	19.299,1	6.800	
	0,6200	434,00	8.611,1	19.784,1	8586,3	20.983	14.533	34,77	661,48	343,45	18.733,8	6.509	
	0,6400	448,00	8.055,6	18.507,7	8291,5	19.629	13.336	31,90	618,81	331,66	18.090,5	6.183	
Nominaal	0,6600	462,00	7.500,0	17.231,4	7960,9	18.276	12.175	29,13	576,13	318,44	17.369,2	5.823	
	0,6800	476,00	6.944,4	15.955,0	7594,6	16.922	11.050	26,43	533,45	303,78	16.569,9	5.429	
	0,7000	490,00	6.388,9	14.678,6	7192,5	15.568	9.960	23,83	490,78	287,70	15.692,7	5.000	
	0,7200	504,00	5.833,3	13.402,2	6754,7	14.214	8.907	21,31	448,10	270,19	14.737,5	4.537	
	0,7400	518,00	5.277,8	12.125,8	6281,1	12.861	7.889	18,87	405,42	251,25	13.704,3	4.040	
	0,7600	532,00	4.722,2	10.849,4	5771,9	11.507	6.906	16,52	362,75	230,87	12.593,2	3.508	
	0,7800	546,00	4.166,7	9.573,0	5226,8	10.153	5.960	14,26	320,07	209,07	11.404,0	2.942	
	0,8000	560,00	3.611,1	8.296,6	4646,1	8.799	5.049	12,08	277,40	185,84	10.136,9	2.342	
	0,8200	574,00	3.055,6	7.020,2	4029,6	7.446	4.174	9,99	234,72	161,18	8.791,8	1.708	
	0,8400	588,00	2.500,0	5.743,8	3377,3	6.092	3.335	7,98	192,04	135,09	7.368,8	1.039	
Minimum	0,8692	608,45	1.688,4	3.879,2	2360,3	4.114	2.173	5,20	129,70	94,41	5.149,7	0	

	Massastromen										
	Diesel olie	Lucht PROX	ZnO	ZnS	Lucht SPFC	Water bevocht lucht	Water naar REF.	Condens uit REF.	Condens uit SPFC	Afgas	Koelwater (dT = 10 °C)
	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s	g/s
Maximum	824,91	72,72	5,01	6,00	15.058	1740,41	3359,21	1054,86	4044,77	15.942,1	598.535
	798,30	70,37	4,85	5,80	14.572	1684,27	3250,85	1020,83	3914,30	15.427,8	572.013
	762,82	67,24	4,63	5,54	13.925	1609,42	3106,36	975,46	3740,33	14.742,1	537.399
	727,34	64,12	4,42	5,29	13.277	1534,56	2961,88	930,09	3566,36	14.056,5	503.640
	691,86	60,99	4,20	5,03	12.629	1459,70	2817,40	884,72	3392,39	13.370,8	470.736
	656,38	57,86	3,98	4,77	11.982	1384,85	2672,92	839,35	3218,42	12.685,1	438.687
	620,90	54,73	3,77	4,51	11.334	1309,99	2528,44	793,98	3044,45	11.999,4	407.493
	585,42	51,61	3,55	4,25	10.686	1235,13	2383,95	748,61	2870,48	11.313,7	377.154
	549,94	48,48	3,34	4,00	10.039	1160,28	2239,47	703,24	2696,51	10.628,1	347.670
	514,46	45,35	3,12	3,74	9.391	1085,42	2094,99	657,87	2522,55	9.942,4	319.041
Nominaal	478,98	42,22	2,91	3,48	8.743	1010,56	1950,51	612,50	2348,58	9.256,7	291.267
	443,50	39,10	2,69	3,22	8.096	935,71	1806,03	567,13	2174,61	8.571,0	264.348
	408,02	35,97	2,48	2,97	7.448	860,85	1661,54	521,76	2000,64	7.885,3	238.283
	372,54	32,84	2,26	2,71	6.800	785,99	1517,06	476,39	1826,67	7.199,7	213.074
	337,06	29,71	2,05	2,45	6.153	711,14	1372,58	431,02	1652,70	6.514,0	188.720
	301,58	26,58	1,83	2,19	5.505	636,28	1228,10	385,65	1476,73	5.828,3	165.221
	266,10	23,46	1,62	1,93	4.857	561,42	1083,62	340,28	1304,77	5.142,6	142.577
	230,62	20,33	1,40	1,68	4.210	486,57	939,13	294,91	1130,80	4.456,9	120.788
	195,14	17,20	1,18	1,42	3.562	411,71	794,65	249,54	956,83	3.771,2	99.854
	159,66	14,07	0,97	1,16	2.914	336,85	650,17	204,17	782,86	3.085,6	79.775
Minimum	107,83	9,51	0,65	0,78	1.968	227,50	439,10	137,89	528,72	2.083,9	51.979

## Nominaal 6000 kW bij 440 volt AC met vermogensvariatie

$E_0 =$	0,93 (volt)
$b =$	3,60E-05 (ohmm2)
Platen per stack =	100 (#)
Stacks in serie =	7 (#)
Plaat opp. SPFC =	2,7570 (m <sup>2</sup> )

maximale parasitaire last van pompen en compressoren =	2874,69 (kW)
wissel spanning =	440 (volt)

	SPFC					Totaal					Verlies DC-AC converter (4%)	AC stroom sterkte (A)	Netto beschikbaar vermogen AC (kW)
	Spanning per plaat (volt)	Spanning serie stacks (volt)	stroom per plaat (A/m²)	Totale stroom sterkte (A)	Vermogen serie stacks (kW)	energie input waterstof (kW)	afvoeren met koelwater (kW)	pomp vermogen met koelwater (dP=1 bar) (kW)	terug levering door expander (kW)				
Maximum	0,4650	325,50	12.916,7	35.611,5	11591,5	37.770	30.023	71,82	1190,67	463,66	25.290,6	9.444	
	0,4800	336,00	12.500,0	34.462,7	11579,5	36.551	28.692	68,64	1152,26	463,18	25.264,3	9.394	
	0,5000	350,00	11.944,4	32.931,1	11525,9	34.927	26.956	64,49	1101,05	461,03	25.147,3	9.291	
	0,5200	364,00	11.388,9	31.399,4	11429,4	33.302	25.263	60,44	1049,84	457,17	24.936,8	9.147	
	0,5400	378,00	10.833,3	29.867,7	11290,0	31.678	23.612	56,49	998,63	451,60	24.632,7	8.962	
	0,5600	392,00	10.277,8	28.336,0	11107,7	30.053	22.005	52,64	947,41	444,31	24.235,0	8.736	
	0,5800	406,00	9.722,2	26.804,3	10882,6	28.429	20.440	48,90	896,20	435,30	23.743,8	8.469	
	0,6000	420,00	9.166,7	25.272,7	10614,5	26.804	18.918	45,26	844,99	424,58	23.159,0	8.160	
	0,6200	434,00	8.611,1	23.741,0	10303,6	25.180	17.439	41,72	793,78	412,14	22.480,6	7.811	
	0,6400	448,00	8.055,6	22.209,3	9949,8	23.555	16.003	38,28	742,57	397,99	21.708,6	7.420	
	0,6600	462,00	7.500,0	20.677,6	9553,1	21.931	14.610	34,95	691,36	382,12	20.843,1	6.988	
	0,6800	476,00	6.944,4	19.146,0	9113,5	20.306	13.260	31,72	640,14	364,54	19.883,9	6.514	
Nominaal	0,7000	490,00	6.388,9	17.614,3	8631,0	18.682	11.952	28,59	588,93	345,24	18.831,3	6.000	
	0,7200	504,00	5.833,3	16.082,6	8105,6	17.057	10.688	25,57	537,72	324,23	17.685,0	5.444	
	0,7400	518,00	5.277,8	14.550,9	7537,4	15.433	9.466	22,65	486,51	301,50	16.445,2	4.848	
	0,7600	532,00	4.722,2	13.019,3	6926,2	13.808	8.288	19,83	435,30	277,05	15.111,8	4.210	
	0,7800	546,00	4.166,7	11.487,6	6272,2	12.184	7.152	17,11	384,09	250,89	13.684,8	3.531	
	0,8000	560,00	3.611,1	9.955,9	5575,3	10.559	6.059	14,49	332,88	223,01	12.164,3	2.810	
	0,8200	574,00	3.055,6	8.424,2	4835,5	8.935	5.009	11,98	281,66	193,42	10.550,2	2.049	
	0,8400	588,00	2.500,0	6.892,5	4052,8	7.310	4.002	9,57	230,45	162,11	8.842,5	1.246	
Minimum	0,8692	608,45	1.888,4	4.655,0	2832,3	4.937	2.607	6,24	155,64	113,29	6.179,7	0	

	Massastromen									
	Diesel olie g/s	Lucht PROX g/s	ZnO g/s	ZnS g/s	Lucht SPFC g/s	Water bevocht lucht g/s	Water naar REF. g/s	Condens uit REF. g/s	Condens uit SPFC g/s	Koelwater Afgas (dT = 10 °C) g/s
Maximum	989,89	87,26	6,01	7,19	18.070	2088,50	4031,05	1265,83	4853,73	19.130,5
	957,96	84,45	5,82	6,96	17.487	2021,13	3901,02	1225,00	4697,16	18.513,4
	915,38	80,69	5,56	6,65	16.710	1931,30	3727,64	1170,55	4488,40	17.690,6
	872,81	76,94	5,30	6,34	15.932	1841,47	3554,26	1116,11	4279,63	16.867,8
	830,23	73,19	5,04	6,03	15.155	1751,64	3380,88	1061,67	4070,87	16.044,9
	787,66	69,43	4,78	5,72	14.378	1661,82	3207,50	1007,22	3862,11	15.222,1
	745,08	65,68	4,52	5,41	13.601	1571,99	3034,13	952,78	3653,34	14.399,3
	702,50	61,93	4,26	5,11	12.824	1482,16	2860,75	898,33	3444,58	13.576,5
	659,93	58,17	4,01	4,80	12.046	1392,33	2687,37	843,89	3235,82	12.753,7
	617,35	54,42	3,75	4,49	11.269	1302,50	2513,99	789,44	3027,06	11.930,9
	574,78	50,67	3,49	4,18	10.492	1212,68	2340,61	735,00	2818,29	11.108,0
	532,20	46,91	3,23	3,87	9.715	1122,85	2167,23	680,55	2609,53	10.285,2
Nominaal	489,62	43,16	2,97	3,56	8.938	1033,02	1993,85	626,11	2400,77	9.462,4
	447,05	39,41	2,71	3,25	8.161	943,19	1820,48	571,67	2192,01	8.639,6
	404,47	35,65	2,46	2,94	7.383	853,37	1647,10	517,22	1983,24	7.816,8
	361,90	31,90	2,20	2,63	6.606	763,54	1473,72	462,78	1774,48	6.994,0
	319,32	28,15	1,94	2,32	5.829	673,71	1300,34	408,33	1565,72	6.171,1
	276,74	24,40	1,68	2,01	5.052	583,88	1126,96	353,89	1356,96	5.348,3
	234,17	20,64	1,42	1,70	4.275	494,05	953,58	299,44	1148,19	4.525,5
	191,59	16,89	1,16	1,39	3.497	404,23	780,20	245,00	939,43	3.702,7
Minimum	129,39	11,41	0,79	0,94	2.362	273,00	526,92	165,46	634,46	2.500,7

## REPORT DOCUMENTATION PAGE

### (MOD-NL)

<b>1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL)</b> TD 99-0199	<b>2. RECIPIENT'S ACCESSION NO</b>	<b>3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO</b> R 99/048
<b>4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO</b> 28301	<b>5. CONTRACT NO</b> A97/KM/111	<b>6. REPORT DATE</b> May 1999
<b>7. NUMBER OF PAGES</b> 47 (incl. 4 appendices, excl. RDP & distribution list)	<b>8. NUMBER OF REFERENCES</b> 7	<b>9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED</b> Final, June 1997 - December 1998
<b>10. TITLE AND SUBTITLE</b>  Model for a polymer fuel cell with diesel reformer for use in the integrated energy model GES (Model van een polymere brandstofcel met diesel reformer voor gebruik in GES)		
<b>11. AUTHOR(S)</b> M. Nienoord, D. Schmal		
<b>12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> TNO institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation P.O. Box 342, 7300 AH Apeldoorn, The Netherlands		
<b>13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> TNO Defence Research P.O. Box 6006, 2600 JA Delft, The Netherlands		
<b>14. SUPPLEMENTARY NOTES</b> The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified		
<b>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))</b> <p>The TNO Centre of Mechanical Engineering has developed an integrated energy system model called GES, which can be used to do calculations on the complete energy system of (electrical) ships on efficiency, cost, sizes etc. The ongoing development of fuel cells for vehicle traction makes it possible that fuel cells will come into a stage in the coming years where they will be applied on board of naval ships. Therefore the Royal Netherlands Navy has asked TNO-MEP to supply a model for the fuel cell system using diesel as a fuel.</p> <p>From a literature survey it was concluded that for the polymer fuel cell ample information is available for modelling of the fuel cell, but not for modelling of the processor which is required to convert diesel into hydrogen for the fuel cell. For modelling of the processor, a study of ECN [1], carried out for the Royal Netherlands Navy on fuel cell systems, has been used. On the basis of a number of changes and additions the results have been made applicable for use in GES.</p> <p>For a fuel cell power range of 1 to 7 MW calculations have been carried out resulting in data for energy and mass flows for the various compounds, as well as volumes for use in GES. Also part load calculations have been performed for these powers. The result of the project is a number of tables describing the behaviour and physical data of the fuel cell systems for implementation in GES.</p>		
<b>16. DESCRIPTORS</b> fuel cell reformer diesel		<b>IDENTIFIERS</b> polymer fuel cell
<b>17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)</b> Ongerubriceerd	<b>17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)</b> Ongerubriceerd	<b>17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)</b> Ongerubriceerd
<b>18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT</b> Unlimited Distribution		<b>17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)</b> Ongerubriceerd

## **Distributielijst TNO-MEP R 99/048**

	<i>Aantal</i>
DWOO	1
HWO-CO	1
HWO-KM	1
HWO-KL	1
HWO-Klu	1
DMKM/af. MT t.a.v. ir. I.P. Barendregt	5
TNO-DO	1
KIM t.a.v. prof.ir. D. Stapersma	1
Bibliotheek KMA	3